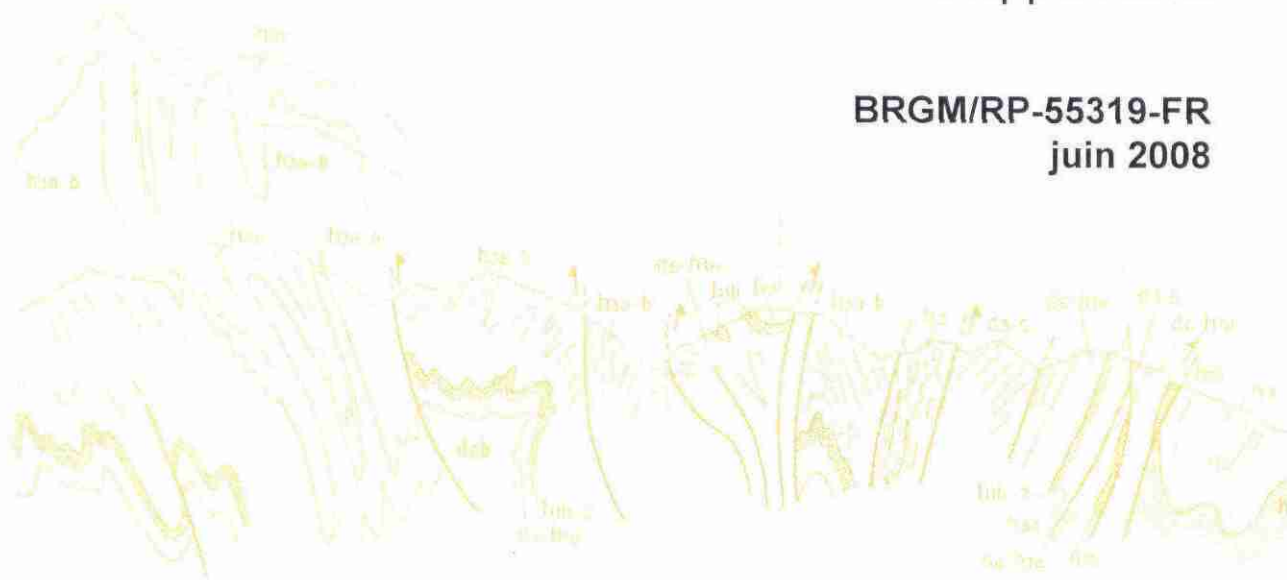


Potentiel géothermique du département de l'Hérault

Rapport final

BRGM/RP-55319-FR
juin 2008





Potentiel géothermique du département de l'Hérault

Rapport final

BRGM/RP-55319-FR
juin 2008

Etude réalisée dans le cadre des opérations
de Service Public du BRGM 07ENEB01

D. Nguyen, JP. Marchal, N. Graveline, M. Blaise

Vérificateur

Exemplaire original signé par :
P. Monnot

Approbateur

Exemplaire original signé par :
M. Audibert

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : géothermie, potentiel, aquifère

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Nguyen.D., Marchal.JP., Graveline.N., Blaise.M. (2008) – Potentiel géothermique du département de l'Hérault. Rapport final. Rap. BRGM/RP-55319-FR, 121 p., 47 ill., 6 ann., dont annexe 6 sur cédérom.

Synthèse

Le Conseil Général de l'Hérault a souhaité faire évaluer le potentiel géothermique du département. Pour répondre aux spécificités de la géothermie dans l'Hérault, l'étude visant à son développement est organisée en plusieurs volets distincts : i) Présentation de la géothermie et bilan de la géothermie dans l'Hérault, ii) Rappel du contexte des eaux souterraines dans l'Hérault avec comme perspective l'utilisation à des fins géothermiques des aquifères superficiels et de ceux situés à moyenne profondeur, iii) Réalisation d'un atlas géothermique des ressources géothermiques potentielles présentées par les aquifères superficiels et ceux situés à moyenne profondeur (géothermie sur nappe) ; iv) Calcul économique destiné à fournir des ordres de grandeurs et des références en termes de rentabilité de projets géothermie basse énergie sur nappe (via PAC eau-eau) en comparant ces solutions techniques de chauffage à celles utilisées classiquement (chaudière à gaz - éventuellement bois -, et groupe froid).

Un atlas géothermique des ressources géothermiques potentielles présentées par les aquifères superficiels et ceux situés à moyenne profondeur est réalisé. Une analyse multicritère est effectuée et permet d'établir, pour chaque commune du département, des cartes de synthèse des secteurs favorables à l'implantation de nouveaux projets de géothermie sur nappe. Des critères de sensibilité des aquifères à une utilisation géothermique sont également pris en compte dans l'analyse pour tenir compte notamment de l'éventuelle utilisation concurrente de la même ressource aquifère à d'autres fins que géothermiques (alimentation en eau potable notamment).

Un ensemble de 158 secteurs homogènes vis-à-vis des niveaux d'aquifères superficiels rencontrés (secteurs hydrogéologiques homogènes) est défini. Pour l'ensemble des 158 secteurs hydrogéologiques homogènes dénombrés et pour chacun des niveaux qui y sont reconnus, est évalué un certain nombre de caractéristiques à prendre en compte dans une évaluation d'un potentiel d'utilisation géothermiques des aquifères superficiels. Il s'agit des paramètres suivants : i) profondeur du réservoir ; ii) épaisseur du réservoir ; iii) débit potentiel moyen mobilisable ; iv) transmissivité des terrains ; v) perméabilité des terrains ; vi) sensibilité du réservoir à l'utilisation à des fins géothermiques ; cette sensibilité est définie en fonction de l'importance de la ressource disponible, de la liaison éventuelle plus ou moins directe avec les eaux de surface (cours d'eau et étangs littoraux), du fait pour l'aquifère d'être exploité plus ou moins intensivement et notamment pour l'AEP, ou de constituer un aquifère patrimonial sensible à la surexploitation par exemple.

Hormis les réservoirs superficiels ou relativement superficiels (jusqu'à 250 m environ), on a aussi cartographié le toit des différents réservoirs plus profonds (entre 250 et 1000 m environ), qui peuvent être utilisés pour l'exploitation de l'eau souterraine comme vecteur de calories. Il s'agit d'une évaluation simplifiée en raison de la complexité géologique qui peut être observée sur toute la partie littorale et médiane du département de l'Hérault. Ces unités géologiques profondes restent encore le plus

souvent mal connues, mais elles peuvent constituer des cibles majeures pour un projet d'exploitation de calories véhiculées par l'eau souterraine.

En matière d'anomalies géothermiques, des conditions de ce type peuvent être rencontrées dans le département de l'Hérault notamment dans le secteur des sources thermales : Balaruc-les-Bains, Lamalou-les-Bains, Avène, ou encore les secteurs de Sète et de Fontcaude à Juvignac. Des anomalies géothermiques avec une extension latérale plus marquée sont aussi connues, en particulier au Sud immédiat de la ville de Lodève, entre la Lergue et le village du Puech, voire plus encore à l'Ouest.

L'analyse des résultats du calcul économique autour de trois cas-types (Maison de retraite-60 lits, Collège-460 élèves, Bureaux-10 000 m²) suggère que l'intérêt principal de la géothermie réside dans l'économie significative de consommation en énergie primaire et de la réduction de la production de CO₂ par le chauffage et la climatisation. Dans certains cas, le choix de la géothermie semble aussi être un choix gagnant sur un plan économique (maison de retraite et bureaux), à condition que le débit nécessaire soit disponible, ceci d'autant plus que la profondeur du réservoir est faible. La rentabilité d'un projet géothermique dépendra du type et de l'intensité de la demande. Dans les trois cas types étudiés on s'aperçoit que l'avantage de la géothermie ressort dans des projets où l'on souhaite également produire du froid (climatisation pour les maisons de retraites et les bureaux). L'application à un collège semble plus difficile compte tenu de la faiblesse et de l'intermittence des besoins (sans froid et avec peu d'eau chaude sanitaire). L'analyse de sensibilité montre que les résultats sont sensibles aux paramètres (i) profondeur de l'eau, (ii) COP et (iii) prix du gaz, et le seraient probablement à un grand nombre d'autres paramètres intervenant dans le calcul. On note que les résultats sont très sensibles au prix du gaz : dans l'hypothèse où les prix de l'électricité augmenteraient moins que les prix du gaz (contexte actuel) la géothermie aurait un avantage notable puisqu'elle ne consomme pas de gaz mais de l'électricité (et ce en moindre quantité).

Conformément aux objectifs de l'étude, et d'une façon générale, l'évaluation du potentiel géothermique et les autres estimations techniques et économiques conduites dans le cadre de la présente étude le sont à une échelle départementale, dans un détail cohérent avec l'échelle du 1/100 000. L'analyse réalisée est destinée à orienter les projets géothermiques sur leur faisabilité éventuelle. Elle ne se substitue pas à l'examen détaillé du potentiel géothermique des aquifères et au calcul de l'économie de leur exploitation qui doivent être conduits à l'échelle locale et du projet, particulièrement dans le contexte géologique complexe du département de l'Hérault.

Le cofinancement de l'étude est assuré par le Conseil Général de l'Hérault et par le BRGM, dont l'intervention a été conduite dans le cadre de ses opérations d'appui aux politiques publiques (07ENEB01).

Sommaire

1. Objet et programme de l'étude	9
1.1. Contexte général	9
1.2. Contenu synthétique de l'étude	9
1.3. Cadre contractuel et conduite de l'étude	10
2. Rappel technique sur la géothermie	11
2.1. Principes généraux de la géothermie	11
2.2. Différents types de géothermies et potentiels d'utilisation	11
2.3. Etat de la géothermie dans le monde et en France	12
2.4. Intérêt de la géothermie	15
2.5. Exemples d'objectifs énergétiques	16
2.6. Dispositifs d'exploitation géothermique très basse énergie	19
3. Contexte réglementaire et financier	25
3.1. Code minier	26
3.2. Code de l'environnement (partie relative à la loi sur l'eau)	28
3.3. Réglementation des installations classées	33
3.4. Le code de la santé publique	34
3.5. Démarches administratives	34
3.6. Principaux mécanismes d'accompagnement	34
4. Bilan de la géothermie dans le département de l'Hérault	39
4.1. Sites ayant fait l'objet d'études et de recherches	40
4.2. Sites exploités	43
5. Contexte des eaux souterraines dans le département de l'Hérault	47
5.1. Domaines ou systèmes aquifères alluviaux	47
5.2. Domaines ou systèmes aquifères sédimentaires karstiques	48
5.3. Domaines ou systèmes aquifères de socle	48
5.4. Domaines ou systèmes aquifères hétérogènes	49
5.5. Domaines ou systèmes aquifères sédimentaires non karstiques	49
5.6. Les formations basaltiques	51
6. Potentiel géothermique du département de l'Hérault	53

6.1.	Potentiel géothermique des aquifères superficiels.....	53
6.2.	Potentiel géothermique des ressources à moyenne profondeur	66
6.3.	Anomalies géothermiques	67
6.4.	Présentation de l'atlas géothermique.....	69
7.	Calcul économique	71
7.1.	Methodologie du calcul économique.....	71
7.2.	Limitations du calcul économique	76
7.3.	Hypothèses de calcul	76
7.4.	Résultats des calculs	82
7.5.	Analyse de sensibilité	85
7.6.	Discussion	87
	Conclusion	89
	Bibliographie.....	93

Liste des illustrations

Illustration 1 – Production d'électricité géothermique dans le Monde et en Europe.....	12
Illustration 2 – Production de chaleur géothermique dans le Monde, en Europe et en France.....	13
Illustration 3 – Puissance installée et production 2006 (Eur'Observer)	14
Illustration 4 – Nombre de PAC géothermiques individuelles vendues dans quelques pays européens. Source : Eur'Observer 2007	14
Illustration 5 – Evolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur (Observatoire de l'énergie : l'énergie en France - repères Edition 20007).....	15
Illustration 6 – Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2002 (d'après « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment ») - IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles	16
Illustration 7 – Répartition de la chaleur renouvelable (Grenelle de l'environnement)	18
Illustration 8 – Répartition de la chaleur géothermique (Grenelle de l'environnement)	18
Illustration 9 – Schéma de principe général d'une pompe à chaleur (rapport ALTO) ..	19
Illustration 10 – Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur nappe (rapport ALTO).....	20

Illustration 11 – Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques	21
Illustration 12 – Différents types de dispositifs d'exploitation géothermique TBE	22
Illustration 13 – Présentation des dispositions réglementaires relatives aux PAC sur nappe	25
Illustration 14 – Présentation des dispositions du Code Minier	26
Illustration 15 – Présentation des dispositions du Code de l'Environnement	28
Illustration 16 – Domaine d'application de la rubrique 1.1.1.0 du Code de l'Environnement	30
Illustration 17 – Carte de situation des opérations géothermiques dans l'Hérault	40
Illustration 18 – Nombre de niveaux d'aquifères superficiels	55
Illustration 19 – Niveau 1 des aquifères superficiels (aquifères alluviaux)	56
Illustration 20 – Niveau 2 des aquifères superficiels	57
Illustration 21 – Niveau 3 des aquifères superficiels	57
Illustration 22 – Niveau 4 des aquifères superficiels	58
Illustration 23 – Niveau 5 des aquifères superficiels	58
Illustration 24 – Secteur de Gignac	61
Illustration 25 – Réservoirs rencontrés sous le bourg de Gignac	61
Illustration 26 – Nombre de réservoirs superficiels rencontrés	64
Illustration 27 – Débit potentiel moyen mobilisable - Cumul des réservoirs superficiels	64
Illustration 28 – Sensibilité des aquifères superficiels à une utilisation géothermique	65
Illustration 29 – Ressources dans les aquifères à moyenne profondeur	67
Illustration 30 – Ecran d'accueil du document HTML de l'atlas géothermique	69
Illustration 31 – Schéma de principe d'une courbe monotone : choix du taux de couverture par la géothermie - Puissance et besoin en chaud	72
Illustration 32 – Principales caractéristiques des cas étudiés	77
Illustration 33 – Données techniques du calcul économique	80
Illustration 34 – Caractéristiques de fonctionnement de la PAC et des chaudières	80
Illustration 35 – Paramètres économiques et financiers du calcul économique	81
Illustration 36 – Paramètres pour l'estimation des impacts environnementaux	81
Illustration 37 – Coût de revient Géothermie vs. Solution classique, en € par kWh	82
Illustration 38 – Coût de revient Géothermie vs. Solution classique, en € par m ² de surface bâtie	82

Illustration 39 – Débit de pompage requis de l'aquifère	82
Illustration 40 – Résultats économiques et financiers de la solution Géothermie	83
Illustration 41 – Economie de consommation.....	84
Illustration 42 – Ratios Coût-Efficacité de la solution Géothermie (sans comptabiliser les aides).....	84
Illustration 43 – Différentiel € par kWh produit en fonction de la profondeur de l'aquifère	85
Illustration 44 – Différentiel € par kWh produit en fonction du COP	86
Illustration 45 – Différentiel € par kWh produit en fonction du prix du gaz.....	86
Illustration 46 – Entités hydrogéologiques pour le département de l'Hérault.....	103
Illustration 47 – Ouvrages géothermiques déclarés dans la Banque du sous-sol (BSS).....	109

Liste des annexes

Annexe 1 – Fiches d'opération standardisées	95
Annexe 2 – Entités hydrogéologiques départementales et ouvrages déclarés	101
Annexe 3 – Garantie AQUAPAC.....	111
Annexe 4 – Carte des réservoirs superficiels (planche hors-texte – éch. 1/100 000).....	117
Annexe 5 – Carte des réservoirs à moyenne profondeur (planche hors-texte – éch. 1/100 000).....	119
Annexe 6 – Données numériques (cédérom).....	121

Abréviations

CEE : certificat d'économie d'énergie	TBE : très basse énergie
COP : coefficient de performance	TEP : tonne-équivalent pétrole
ECS : eau chaude sanitaire	Teq : tonne-équivalent CO ₂
EP : énergie primaire	TRI : taux de rentabilité interne
MdR : maison de retraite	VAN : valeur actuelle nette
PAC : pompe à chaleur	

1. Objet et programme de l'étude

1.1. CONTEXTE GENERAL

Le Conseil Général de l'Hérault a souhaité faire évaluer le potentiel géothermique du département. Il est en effet apparu opportun d'engager une démarche ayant pour objectif principal de faire le point sur les réalisations géothermiques ainsi que sur le potentiel de la géothermie sur nappe, et de porter ensuite à la connaissance des responsables, comme des populations locales, les possibilités concrètes de développement de cette énergie.

1.2. CONTENU SYNTHETIQUE DE L'ETUDE

Pour répondre aux spécificités de la géothermie dans l'Hérault, l'étude visant à son développement est organisée en plusieurs volets distincts :

- Présentation de la géothermie : il s'agit de donner un aperçu général des différentes filières géothermiques sous leurs aspects techniques, économiques ainsi que sur le contexte réglementaire et financier de cette filière.
- Bilan de la géothermie dans l'Hérault : synthèse et bilan des expériences géothermiques passées et actuelles réalisées dans l'Hérault.
- Rappel du contexte des eaux souterraines dans l'Hérault avec comme perspective l'utilisation à des fins géothermiques des aquifères superficiels et de ceux situés à moyenne profondeur.
- Réalisation d'un atlas géothermique des ressources géothermiques potentielles présentées par les aquifères superficiels et ceux situés à moyenne profondeur (géothermie sur nappe). Une analyse multicritère est effectuée et permet d'établir, pour chaque commune du département, des cartes de synthèse des secteurs favorables à l'implantation de nouveaux projets de géothermie sur nappe. Des critères de sensibilité des aquifères à une utilisation géothermique sont également pris en compte dans l'analyse pour tenir compte notamment de l'éventuelle utilisation concurrente de la même ressource aquifère à d'autres fins que géothermiques (alimentation en eau potable notamment).
- Calcul économique destiné à fournir des ordres de grandeurs et des références en termes de rentabilité de projets géothermie basse énergie sur nappe (via PAC eau-eau) en comparant ces solutions techniques de chauffage à celles utilisées classiquement (chaudière à gaz - éventuellement bois -, et groupe froid).

1.3. CADRE CONTRACTUEL ET CONDUITE DE L'ETUDE

Le programme d'étude est contractualisé par la convention de partenariat n° 06/C1030 établie le 22/01/2007 entre le Conseil Général de l'Hérault et le BRGM. Le cofinancement de l'étude est assuré par le Conseil Général de l'Hérault et par le BRGM, dont l'intervention a été conduite dans le cadre de ses opérations d'appui aux politiques publiques (07ENEB01).

L'exécution de l'étude a été assurée par le BRGM Montpellier (Service géologique régional Languedoc-Roussillon et unité EAU/RMD), avec l'appui méthodologique du département Géothermie du Centre technique du BRGM à Orléans.

2. Rappel technique sur la géothermie

2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

La géothermie consiste à exploiter la chaleur stockée dans le sous-sol de notre planète. Cette énergie est potentiellement considérable : 1 km² de roche, sur une profondeur de 10 km, renferme en moyenne une quantité d'énergie équivalant à 15 millions de TEP (Tonne Equivalent Pétrole : 1 TEP $\cong$ 11 630 kWh). Les domaines d'utilisation de l'énergie de la terre recouvrent le chauffage, le rafraîchissement, l'utilisation directe de la chaleur et la production d'électricité.

L'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé gradient géothermique. Il est en moyenne, sur la planète, de 30°C par kilomètre, le flux d'énergie thermique à l'origine de ce gradient étant de l'ordre de 60 mW/m². Ces valeurs peuvent être cependant 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 °C tous les 100 m en France, et varie de 10°C par 100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C par 100 m au pied des Pyrénées.

La chaleur dégagée par notre globe a pour origine le refroidissement de son noyau, mais également la désintégration des éléments radioactifs présents dans ses roches : uranium, thorium, potassium, etc. ; 90% de l'énergie dissipée provient en effet de ce phénomène de désintégration des éléments radioactifs.

2.2. DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIES ET POTENTIELS D'UTILISATION

On distingue plusieurs types de géothermie, en fonction des caractéristiques de la ressource et de l'usage final.

2.2.1. Production d'électricité

La géothermie haute enthalpie ou haute température concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures à 150°C. Les réservoirs sont généralement localisés dans des contextes géodynamiques spécifiques (zones de volcanisme...), présentant des gradients géothermiques pouvant être sans commune mesure au gradient moyen. Lorsqu'il existe un réservoir, le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité. En périphérie de ces réservoirs, mais aussi plus généralement, à grande profondeurs (de 2000 à 4000 mètres), on trouve des ressources sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90°C et 150°C (dite de moyenne énergie). Pour produire de l'électricité, une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire alors nécessaire.

2.2.2. Usage direct de la chaleur

L'usage direct de la chaleur consiste en l'utilisation de la chaleur, par extraction d'eau chaude contenue dans les milieux naturels et sa valorisation directe (via un échangeur de chaleur) pour le chauffage ou d'autres besoins (process industriel...). Le cas le plus typique est celui de l'exploitation des aquifères profonds (1500 – 2000 m) des bassins sédimentaires, à des températures entre 30°C et 90°C (on parle de géothermie basse énergie). En France métropolitaine, plus de 30 réseaux de chaleur urbains sont alimentés par ce type de géothermie. Ils permettent d'économiser plus de 160 000 TEP/an de combustibles fossiles. En région parisienne, l'eau de l'aquifère profond du Dogger est captée entre 1500 et 1800 m de profondeur, à des températures comprises entre 55° et 85°C.

2.2.3. Valorisation de la géothermie superficielle par les pompes à chaleur

La valorisation de la géothermie superficielle par les pompes à chaleur concerne l'exploitation de l'énergie contenue dans les terrains ou les aquifères peu profonds (en général < 100 m) pour la production de chaleur et/ou de froid. La température exploitée est inférieure à 30°C (généralement comprise entre 9 et 15 °C). Pour exploiter cette gamme de températures, il est nécessaire de recourir à l'utilisation de pompes à chaleur (PAC). Les PAC peuvent fonctionner sur des dispositifs d'échange et d'extraction d'énergie avec le sous-sol (capteurs horizontaux de, profondeur inférieure à 2.0 m, capteurs verticaux, profondeur généralement inférieure à 100 m), l'eau souterraine des aquifères peu profonds (puits de pompage), les eaux superficielles ou l'air (intérieur ou extérieur de l'habitat).

2.3. ETAT DE LA GEOTHERMIE DANS LE MONDE ET EN FRANCE

a) Production d'électricité (Fridleifsson et al, 2008)

	2000 MWe	2007 MWe
Monde	7 975	9 700
Europe	996	1 130

Illustration 1 – Production d'électricité géothermique dans le Monde et en Europe

En 2007, on compte 24 pays producteurs d'électricité géothermique dans le Monde. La France arrive au 19^e rang, avec l'installation de Bouillante en Guadeloupe (15 MWe à fin 2004), juste derrière le Portugal (23 MWe). Pour l'Europe, on note deux nouveaux entrants : l'Allemagne (3 MWe) et l'Autriche (1,25 MWe), qui ont développé de nouvelles technologies. L'Italie est le premier pays européen avec 811 MWe installé en 2007 (5 340 GWh) ; elle projette un parc de 910 MWe d'ici 2010.

b) Production de chaleur (Fridleifsson et al, 2008)

	2000 MWth	2004 MWth
Monde	15 145	27 825
Europe	6 517	13 760
France	300	308 (hors PAC)

Illustration 2 – Production de chaleur géothermique dans le Monde, en Europe et en France

En 2005 on recensait en 70 pays produisant de la chaleur géothermique. Ce sont les chiffres publiés durant Le Congrès Mondial de Géothermie en avril 2005 (WGC2005). Ils sont indicatifs car les modes de calcul et de présentation des chiffres ne sont pas toujours homogènes d'un pays à l'autre. Certains intègrent le thermalisme (comme la Hongrie par exemple). Certains pays n'avaient pas pris en compte le chauffage par pompes à chaleur géothermiques en 2000, mais l'ont intégré en 2004 (exemple le Danemark). Dans ce classement, la France arrive au 12^{ème} rang mondial, avec 308 MWth. Mais ce chiffre ne concerne que la géothermie basse énergie, hors PAC. Le doublement de puissance installée en Europe, pour la production de chaleur, est dû en partie au fait qu'à partir de 2004 les PAC ont été intégrées au calcul.

Le baromètre Eur'Observer (édition 2007) donne une idée précise de la situation en Europe en 2006 (Illustration 3). La France apparaît ici avec une puissance installée de 1129 MWth, ce qui la place au 3^{ème} rang européen. Au niveau européen, la tendance donne une puissance thermique géothermique installée de 17 500 MWth à l'horizon 2010, pour un objectif fixé par le livre blanc sur l'énergie de l'Union Européenne à seulement 5 000 MWth.

	Puissance installée (MWth)	Production (kTEP)
Usage direct de la chaleur		
EU25	2 236	685
France	307	130
PAC		
EU25	7 328	
France	922	
Total		
EU25	9 564	
France	1 129	

Illustration 3 – Puissance installée et production 2006 (Eur'Observer)

c) Pompes à chaleur géothermiques

	2004	2005	2006	% neuf ¹	Population (en million d'habitants)
France	11 700	13 880	20 026	5%	60
Allemagne	9 593	13 250	28 605		80
Suède	39 359	34 584	40 017	95%	8.8

Illustration 4 – Nombre de PAC géothermiques individuelles vendues dans quelques pays européens.
Source : Eur'Observer 2007

La tendance pour 2007 en France s'établirait à 25 000 unités vendues, poursuivant donc une croissance soutenue. Le nombre d'unités vendues en Suède, comparé à la population de ce pays, laisse imaginer qu'il reste encore un fort potentiel de développement en France, malgré la forte croissance des dernières années. Les installations PAC concernent une large gamme d'habitats ; elles vont du pavillon individuel jusqu'au bâtiment de plusieurs milliers de m². L'AFPAC évalue la part des pompes à chaleur sur eau souterraine installée dans le logement individuel à environ 10 %. Ce chiffre est certainement beaucoup plus élevé dans le petit collectif et tertiaire. Malheureusement, la France ne dispose actuellement pas de statistiques détaillées dans ce domaine.

¹ Source : EDF 2002.

2.4. INTERET DE LA GEOTHERMIE

L'intérêt de la géothermie dans les domaines des économies d'énergie, de l'environnement et du développement durable tient dans le fait que la France va être confrontée dans les années à venir à de grands enjeux énergétiques : maîtriser sa consommation énergétique globale, sécuriser ses approvisionnements et diviser par un facteur 4 d'ici 2050 ses émissions de CO₂ pour limiter le réchauffement climatique.

La consommation finale d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire continue à augmenter, du fait de l'augmentation du parc (en nombre et en surface) et de l'augmentation du confort (y compris le recours accru à la climatisation durant l'été).

Consommation d'énergie finale par secteur

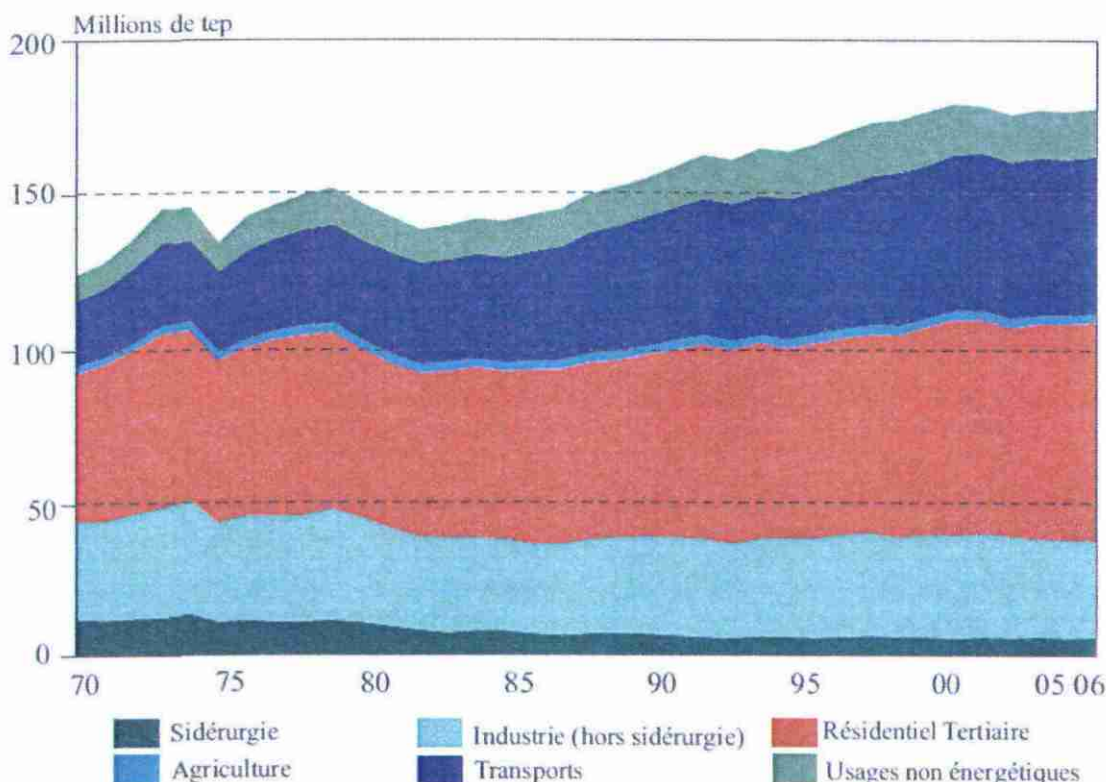


Illustration 5 – Evolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur (Observatoire de l'énergie : l'énergie en France - repères Edition 2007)

Le secteur du bâtiment produit plus de 20% des émissions de CO₂ totales en France. Près de 70% de la consommation d'énergie du résidentiel est liée aux besoins du chauffage. Il y a donc dans ce domaine une source importante d'amélioration qui doit passer tout d'abord par la qualité des bâtiments et par les comportements individuels, mais également par la pénétration des énergies renouvelables dans le Marché et de l'efficacité énergétique des dispositifs de chauffage.

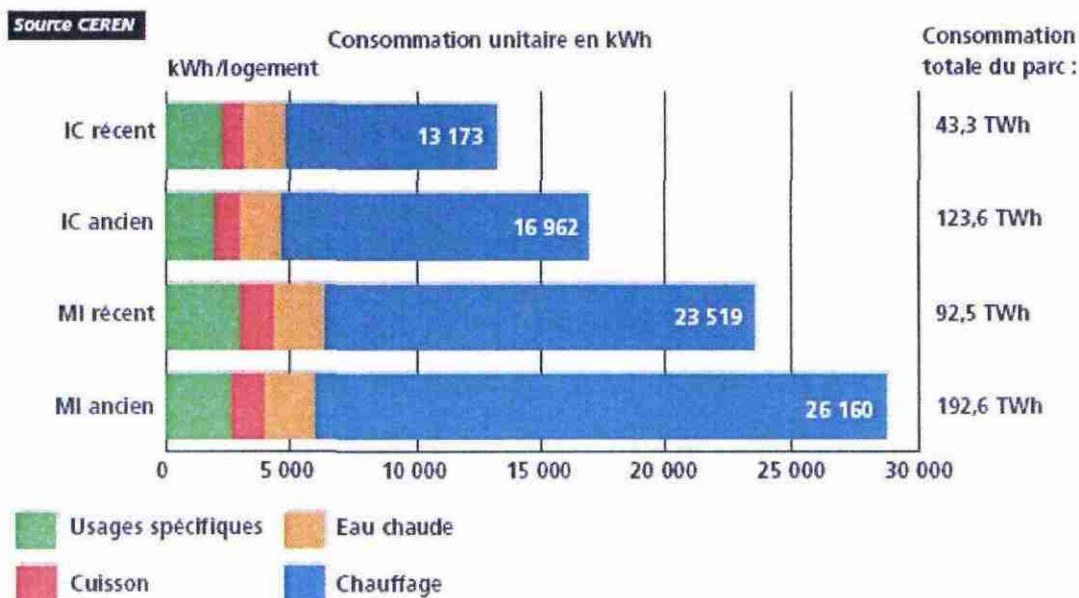


Illustration 6 – Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2002 (d'après « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment ») - IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles

La prise de conscience des risques de pollution et de dégradation de la qualité de notre environnement par le biais des émissions de gaz à effet de serre (le protocole de Kyoto) et l'augmentation du prix des hydrocarbures conduisent progressivement à la mise en place de nouveaux objectifs énergétiques, tant au niveau européen, que national ou local.

2.5. EXEMPLES D'OBJECTIFS ENERGETIQUES

Des exemples d'objectifs énergétiques pour limiter l'émission de gaz à effet de serre sont donnés ci-après.

a) **Projet de directive européenne horizon 2020, reprenant la décision du Conseil européen du 9 mars 2007**

- Moins 20% d'émissions de CO₂
- Au moins 20% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie
- 20% de gain en efficacité énergétique

b) **Plan National de Lutte contre le Changement Climatique**

Le Plan national de lutte contre le changement climatique (PNLCC 2000) définit une stratégie nationale, axée sur des actions domestiques, sans recourir aux mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto. Ce plan répartit l'engagement national

de stabilisation en matière d'émission de gaz à effet de serre, en attribuant des objectifs différenciés par secteurs : transports, bâtiment, énergie, industrie, agriculture, déchets.

Ce plan devrait permettre à la France de respecter ses engagements internationaux pris dans le cadre du protocole. Mais de nombreuses mesures du PNLCC n'ont pas été mises en œuvre. Des dérives sectorielles ont par ailleurs été constatées dans les secteurs des transports et du bâtiment. C'est pourquoi, pour rendre le PNLCC plus efficace, un Plan Climat a été adopté en juillet 2004.

c) Plan Climat 2004

L'application du PNLCC ayant été insuffisante pour assurer le maintien des émissions françaises de gaz à effet de serre et en particulier pour enrayer l'augmentation des émissions de certains secteurs, le Plan Climat 2004 est un plan d'action qui doit permettre à la France d'atteindre cet objectif. Il reprend certaines mesures du PNLCC et en introduit de nouvelles. Il engage aussi une réflexion sur la mise en œuvre de mesures d'adaptation aux impacts du changement climatique.

Il retient huit orientations fortes (campagne nationale de sensibilisation et adaptation ; transports durables ; bâtiment et écohabitat ; industrie, *énergie* et déchets ; agriculture durable et forêts ; climatisation durable ; plans climats territoriaux et État exemplaire ; recherche, international et prospective après 2010).

d) Loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique française

Loi 2005-781 du 13 Juillet 2005 (loi POPE) et décrets du 23 mai 2006. Les objectifs politiques annoncés sont les suivants : contribuer à l'indépendance énergétique ; assurer des prix d'énergies compétitifs ; préserver la santé et l'environnement. Ces objectifs induisent les axes d'action suivants : maîtriser la demande d'énergie ; diversifier les sources d'approvisionnement ; développer la recherche dans les domaines de l'énergie. Cette loi fixe des objectifs chiffrés :

- Diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 3 % par an ;
- Porter la production intérieure d'électricité d'origine renouvelable de 16 % à 21 % de la consommation intérieure d'électricité totale à horizon 2010 ;
- augmentation de 50 % de la production de chaleur d'origine renouvelable à l'horizon 2012.

e) Grenelle de l'environnement

Le Grenelle de l'environnement, vaste processus de concertation qui s'est déroulé au deuxième semestre 2007, doit se traduire par des dispositions législatives dès le mois de juin 2008. L'objectif fixé par le Grenelle est d'équilibrer la production énergétique française, en adossant au réseau centralisé des systèmes décentralisés permettant davantage d'autonomie. Il s'agit aussi de réduire encore le contenu en carbone de l'offre énergétique française, et dans un premier temps, d'atteindre l'objectif de 20 %

(voire 25 %) d'énergies renouvelables (énergie finale) en 2020, dans de bonnes conditions environnementales et de faisabilité. Cela suppose d'augmenter de 20 millions de TEP la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique à l'horizon 2020 en suivant deux lignes stratégiques, autonomisation et décentralisation, là où c'est possible. Des comités opérationnels se sont réunis au premier semestre 2008 pour préparer le travail législatif. Concernant le partage du fardeau entre les différentes énergies renouvelables, la prospective dressée par le comité opérationnel énergie renouvelable est la suivante : (i) Chaleur : + 10 millions de TEP ; (ii) Électricité : + 7 millions de TEP ; (iii) Biocarburants : + 3 millions de TEP. Concernant la chaleur renouvelable, la répartition est la suivante, en milliers de TEP est montré par l'illustration 7. Pour la chaleur géothermique, l'évolution est indiquée par l'illustration 8.

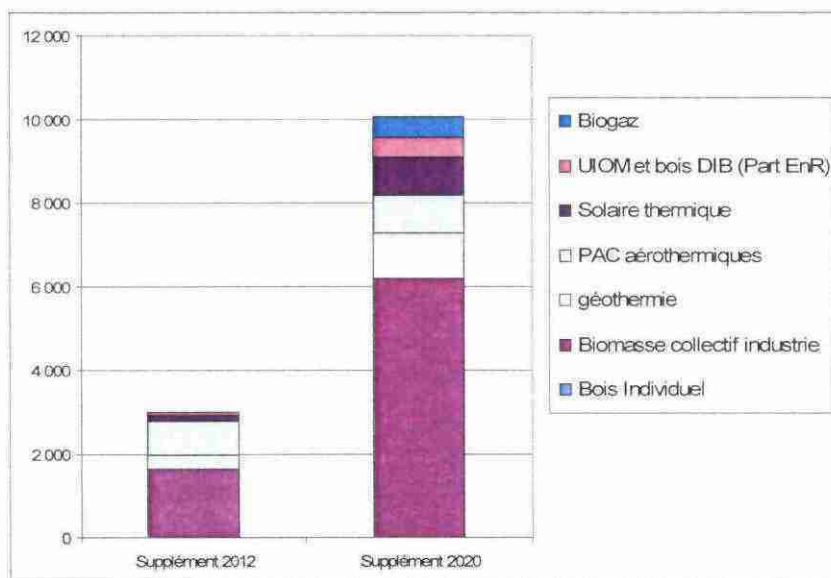


Illustration 7 – Répartition de la chaleur renouvelable (Grenelle de l'environnement)

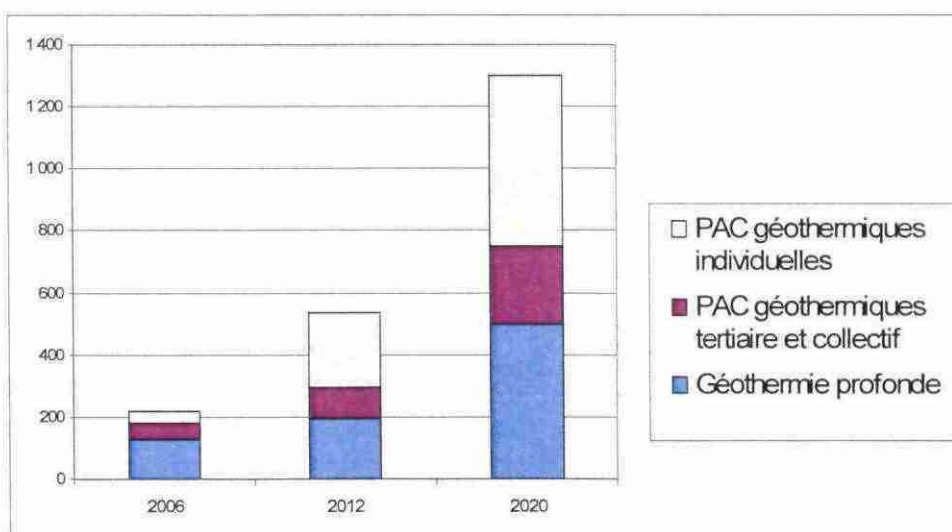


Illustration 8 – Répartition de la chaleur géothermique (Grenelle de l'environnement)

2.6. DISPOSITIFS D'EXPLOITATION GEOTHERMIQUE TRES BASSE ENERGIE

La géothermie très basse énergie (TBE), associée aux systèmes de pompes à chaleur, peut apporter une réponse énergétique et environnementale satisfaisante dans le domaine du chauffage (et rafraîchissement) résidentiel et tertiaire (logements, bureaux, commerces). Dans son principe (Illustration 9), une pompe à chaleur permet de prélever de la chaleur à basse température (généralement 9 – 15 °C) dans un milieu et de la restituer à plus haute température dans un autre milieu. La pompe à chaleur fonctionne selon le cycle thermodynamique ci-après :

- La chaleur absorbée au milieu extérieur (eau souterraine ou sondes géothermiques) est transférée au circuit de la PAC par un échangeur (évaporateur) dans lequel un fluide frigorigène se vaporise à basse température ;
- Le compresseur de la PAC (entraîné par un moteur électrique) comprime cette vapeur à haute pression ;
- Par l'échange thermique entre le condenseur et le milieu extérieur (= production de chaleur) la vapeur repasse à l'état liquide ;
- Le détendeur assure le passage du fluide liquide de la haute pression à la basse pression.

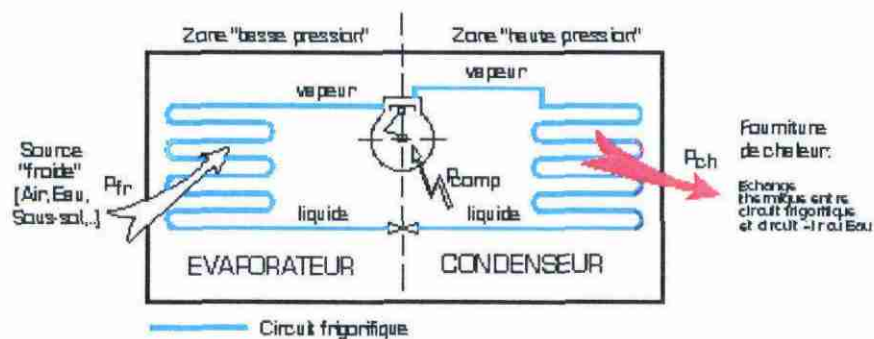


Illustration 9 – Schéma de principe général d'une pompe à chaleur (rapport ALTO)

La description des dispositifs d'exploitation géothermique par pompes à chaleur sur aquifère superficiel et par pompes à chaleur sur sondes géothermique sont fournis en suivant.

a) Pompe à chaleur sur aquifère superficiel

Pour les pompe à chaleur sur aquifère superficiel (pompe à chaleur sur nappe), l'alimentation de la pompe à chaleur se fait par l'intermédiaire d'un forage de prélèvement d'eau souterraine (nappe phréatique, nappe captive peu profonde, nappe artésienne). En fin de cycle, l'eau est réinjectée dans un forage de réinjection (Illustration 9). Le circuit est idéalement fermé.

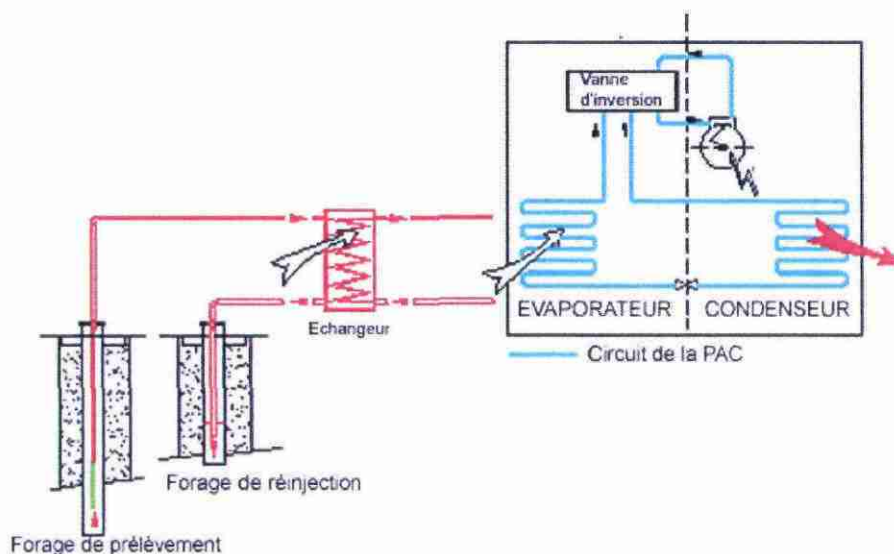


Illustration 10 – Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur nappe (rapport ALTO)

En fonctionnement d'hiver, la pompe à chaleur géothermique prélève la chaleur contenue dans l'eau souterraine et restitue la chaleur à une température utilisable dans le circuit de chauffage du bâtiment (air, boucle d'eau, chauffage au sol). En fonctionnement d'été, une pompe à chaleur réversible permet (en mode rafraîchissement) de prélever l'énergie excédentaire à l'intérieur du bâtiment et de transférer la chaleur excédentaire (chaleur prélevée + la chaleur issue de la puissance du compresseur) dans l'eau souterraine.

Une autre option est le rafraîchissement direct, qui consiste à utiliser directement (avec interposition d'un échangeur) l'eau de la nappe pour assurer le rafraîchissement. On by-pass ainsi la pompe à chaleur. Enfin, le fonctionnement en thermofrigopompe permet la production simultanée de chaud et de froid (destinés aux appareils terminaux qui assurent le traitement d'ambiance des différentes parties du bâtiment). L'eau souterraine constitue la source d'énergie sur laquelle la production vient puiser le chaud ou le froid nécessaire.

b) Pompe à chaleur sur sondes géothermiques

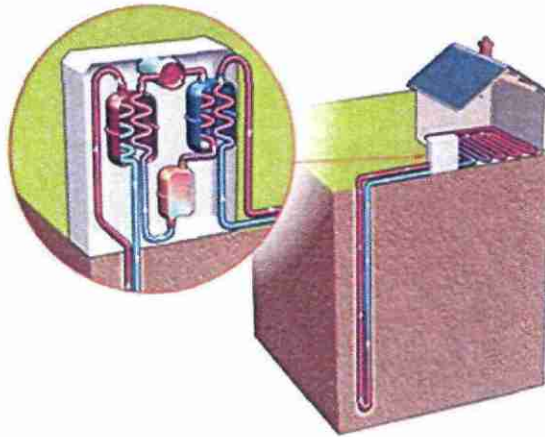


Illustration 11 – Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques

Les capteurs géothermiques verticaux (sondes géothermiques) sont des échangeurs thermiques qui prélèvent, par conduction thermique, la chaleur emmagasinée dans le sous-sol et la transportent vers la pompe à chaleur (PAC), par l'intermédiaire d'un liquide caloporteur (eau glycolée). Ils sont constitués d'un ou plusieurs forages verticaux, de quelques dizaines de mètres de profondeur, parfois plus, dans lesquels sont insérés des tubes en matériau synthétique, en général du polyéthylène haute densité (PEHD), raccordés à la PAC. Ces tubes peuvent être reliés entre eux, soit par une chambre commune, soit deux par deux en double U. Le fluide antigel caloporteur est composé d'eau glycolée (avec l'ajout de 10 – 30 % de monopropylène glycol, pour éviter le gel du circuit), et a la particularité d'avoir un très faible point d'ébullition et donc un grand pouvoir d'absorption de chaleur.

La PAC restitue en surface la chaleur prélevée et pour chauffer une habitation, de préférence au moyen d'un plancher chauffant. Pareillement que la pompe à chaleur sur aquifère superficiel, le système peut être inversé en été pour fonctionner en mode rafraîchissement (cas d'une PAC réversible).

Cette technique est adaptée aux maisons individuelles, à l'habitat individuel groupé, au résidentiel collectif ou au tertiaire. Elle bénéficie d'aides financières publiques (crédits d'impôts, aides aux opérations exemplaires de l'ADEME, aides de l'ANAH,...) et peut se satisfaire de démarches administratives simplifiées qu'il faut cependant connaître et respecter.

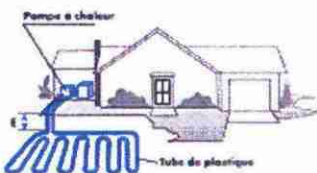
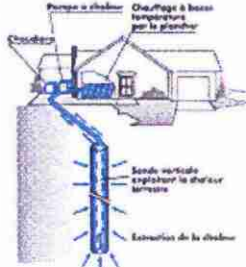
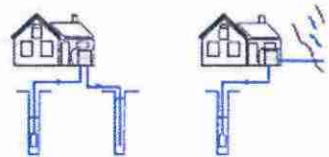
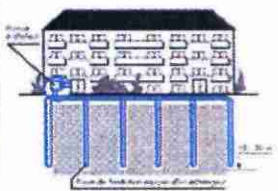
	Profondeur moyenne	Application
 Capteurs horizontaux	0,5 à 1,5 m	Individuel uniquement
 Sonde géothermale appelé aussi Capteur vertical	50 à 100 m Peut atteindre plusieurs centaines de mètres Champ de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de sondes	En individuel En collectif
 PAC sur Aquifères Avec ou sans forage de réinjection	10 à 100 m De quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres	En individuel En collectif
 Géostrucures Pieux de fondation équipés d'échangeurs thermiques	5 à 20 m	En collectif ou tertiaire

Illustration 12 – Différents types de dispositifs d'exploitation géothermique TBE

2.6.2. Procédure technique pour la mise en œuvre des PAC sur aquifères

La validation d'un projet de pompe à chaleur sur nappe nécessite, en plus des études de conception nécessaires à tout projet, une approche spécifique de la connaissance de la ressource en eau souterraine qui sera sollicitée. Les différentes étapes de la mise en œuvre d'un projet de PAC sur aquifères doivent être menées en concertation

avec les autres intervenants du projet, afin d'obtenir le meilleur ajustement besoin - ressource. Une analyse économique devra comprendre une étude comparative afin de justifier la solution pompes à chaleur sur nappe, intégrant les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement (énergie, maintenance), ainsi que l'aspect environnemental. Enfin, il faut noter qu'il existe une procédure de « Garantie sur la ressource en eau souterraine à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques » destinée à couvrir le risque d'aléa sur la ressource et sa pérennité (procédure AQUAPAC).

Les principales étapes de la mise en œuvre d'un projet de PAC sur aquifères sont ainsi les suivantes.

a) Détermination des besoins.

Il s'agit de déterminer les puissances chaud et froid qu'il faudra fournir au bâtiment, et de convertir ces deux puissances en débit d'eau à prélever sur la nappe.

b) Identification préalable de la ressource

L'analyse des données de l'atlas et l'estimation du débit nécessaire pour satisfaire tout ou partie des besoins thermiques permettra une première orientation. Dans l'analyse de l'adéquation besoins/ressources, il n'est pas toujours pertinent de chercher à couvrir la totalité des besoins avec la solution PAC sur nappe. L'analyse du fonctionnement dynamique du bâtiment et des systèmes peut mettre en évidence des fluctuations importantes d'appel de puissance sur de faibles parts du temps de fonctionnement.

c) Etude de faisabilité hydrogéologique

Cette étape requiert l'intervention d'un bureau d'étude spécialisé, car il s'agit d'affiner la démarche d'identification préalable de la ressource, en intégrant en particulier le nombre et le dimensionnement préalable des ouvrages, leur positionnement prévisionnel en fonction des contraintes du site. Une première approche réglementaire peut également être réalisée à ce niveau, ce qui permettra de connaître les documents administratifs à prévoir.

d) Conception, suivi, réception des travaux en sous-sol

Dans cette étape, le bureau d'étude hydrogéologique intervient en tant qu'assistant à la maîtrise d'œuvre de la phase de conception jusqu'à la réception des travaux, tant pour les aspects techniques et financiers des ouvrages (forages, équipements, maintenance) que pour la partie administrative et réglementaire.

2.6.3. Cas de la maison individuelle

Dans le cas d'opérations pour l'habitat individuel, si les principes de la démarche restent les mêmes, il est rarement fait appel à un bureau d'étude hydrogéologique. C'est sur le savoir faire et l'expérience de l'installateur chauffagiste et du foreur que repose la réussite de l'opération.

On peut noter que dans le cas de logements pavillonnaires groupés, il peut être envisagé de mutualiser la ressource, en distribuant l'eau souterraine extraite à chacun des pavillons à partir d'un seul forage (ou groupe de forages).

3. Contexte réglementaire et financier

Les principaux textes réglementaires qui peuvent s'appliquer aux forages destinés à l'alimentation de PAC sur nappe sont :

- le code minier ;
- le code de l'environnement ;
- le code de la santé publique.

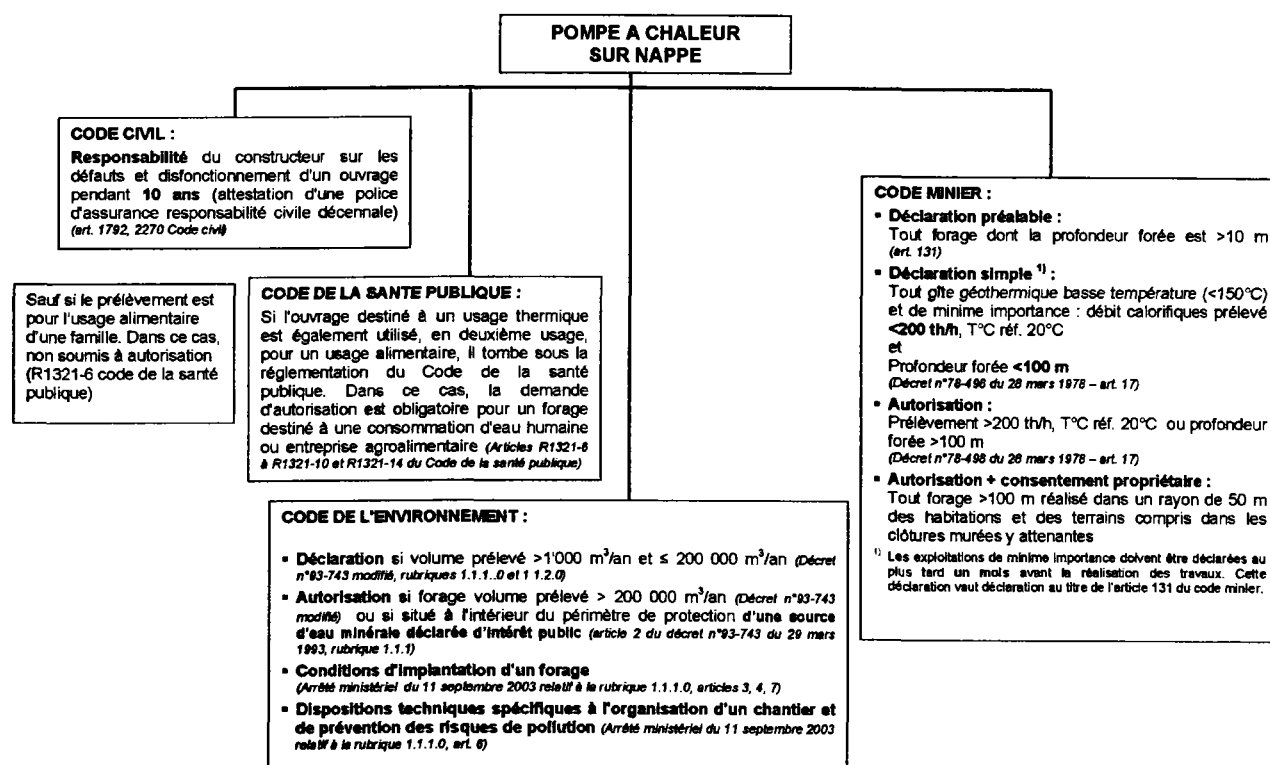


Illustration 13 – Présentation des dispositions réglementaires relatives aux PAC sur nappe

3.1. CODE MINIER

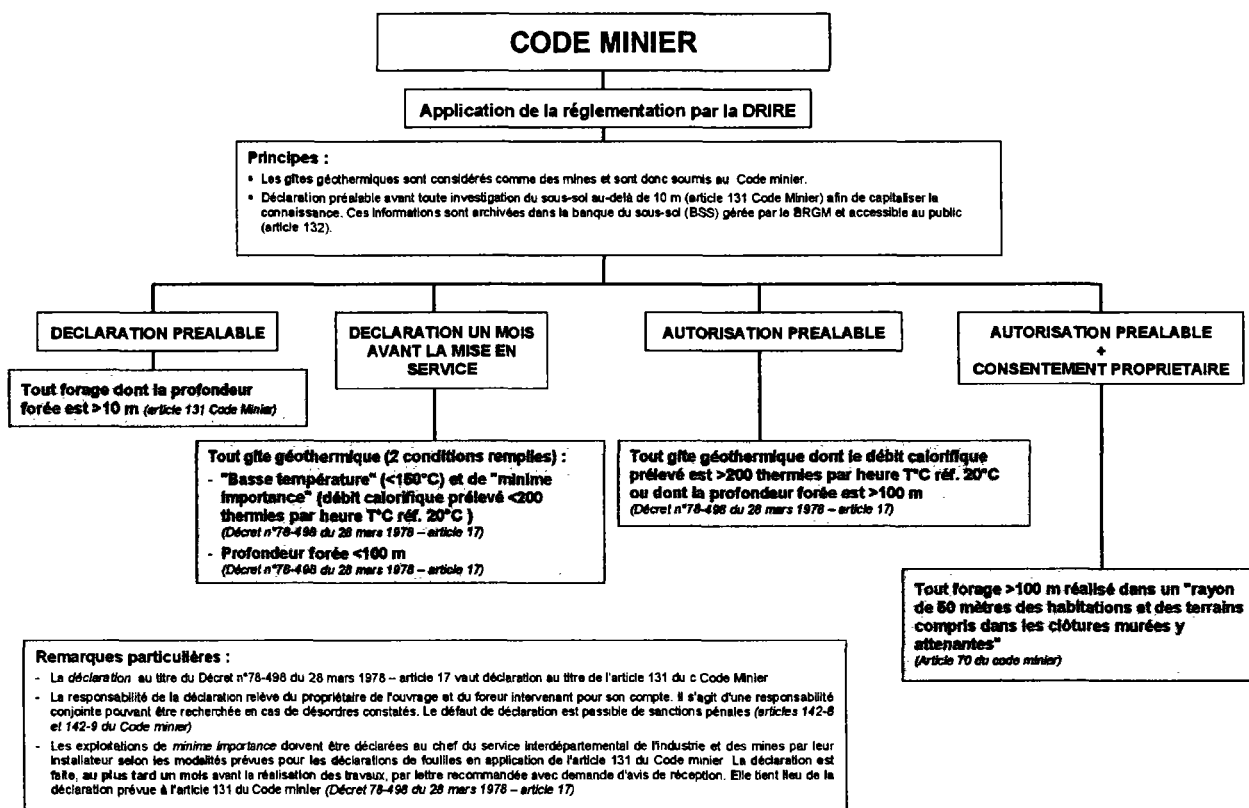


Illustration 14 – Présentation des dispositions du Code Minier

3.1.1. Déclaration ou autorisation pour réaliser un forage

Aux termes de l'article 131 du code minier, l'obligation de déclaration préalable s'impose à tout maître d'ouvrage réalisant un forage dont la profondeur dépasse 10 m, quelle que soit sa destination. En deçà de 100 m de profondeur, le forage est soumis au régime de la déclaration simple. Au-dessus de 100 m de profondeur, il est soumis au régime de l'autorisation.

3.1.2. Notion de gîte géothermique

Les gîtes géothermiques, dont on peut soustraire l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et vapeurs qu'ils contiennent, sont considérés comme des mines (art. 3 code minier). Ils sont classés en gîtes à haute température (> 150°C) et gîtes à basse température (< 150°C).

3.1.3. Exploitation des gîtes géothermiques

L'exploitation de tels gîtes est soumise à l'obtention d'une concession minière (gîtes à haute température) par décret en Conseil d'Etat (code minier, notamment titre II et III, et décret n°95-427) ou d'un permis d'exploitation minier (gîtes à basse température) délivré par la préfecture (Code Minier, articles 98 à 103, et décret n°78-498).

3.1.4. Gîtes à basse température de minime importance

Dans le cas des gîtes basse à basse température, la réglementation minière prévoit toutefois une dérogation à ces règles, lorsque deux conditions sont remplies (décret n°78-498 du 28 mars 1978 – art. 17) :

- la profondeur des forages doit être inférieure à 100 m ;
- le prélèvement de chaleur souterraine, dont le débit calorifique maximal possible calculé par référence à une température de 20°C, doit être inférieur à 200 thermies par heure.

Si ces deux conditions sont remplies, on parle alors d'exploitation géothermique à basse température de minime importance. Ce type d'exploitation n'est pas soumis à autorisation minière mais à déclaration.

Les exploitations de minime importance doivent être déclarées au chef du service interdépartemental de l'industrie et des mines par leur installateur selon les modalités prévues pour les déclarations de fouilles en application de l'article 131 du code minier. La déclaration est faite, au plus tard un mois avant la réalisation des travaux, par lettre recommandée avec demande d'avis de réception. Elle tient lieu de déclaration prévue à l'article 131 du code minier (décret 78-498 du 28 mars 1978 – article 17).

3.1.5. Exploitation d'un gîte géothermique par prélèvement d'eau

Si toutefois, l'exploitation géothermique se fait par prélèvement d'eau du sous-sol (que ce soit avec ou sans réinjection d'eau), le prélèvement peut être soumis à déclaration ou autorisation au titre de la loi sur l'eau.

3.2. CODE DE L'ENVIRONNEMENT (PARTIE RELATIVE A LA LOI SUR L'EAU)

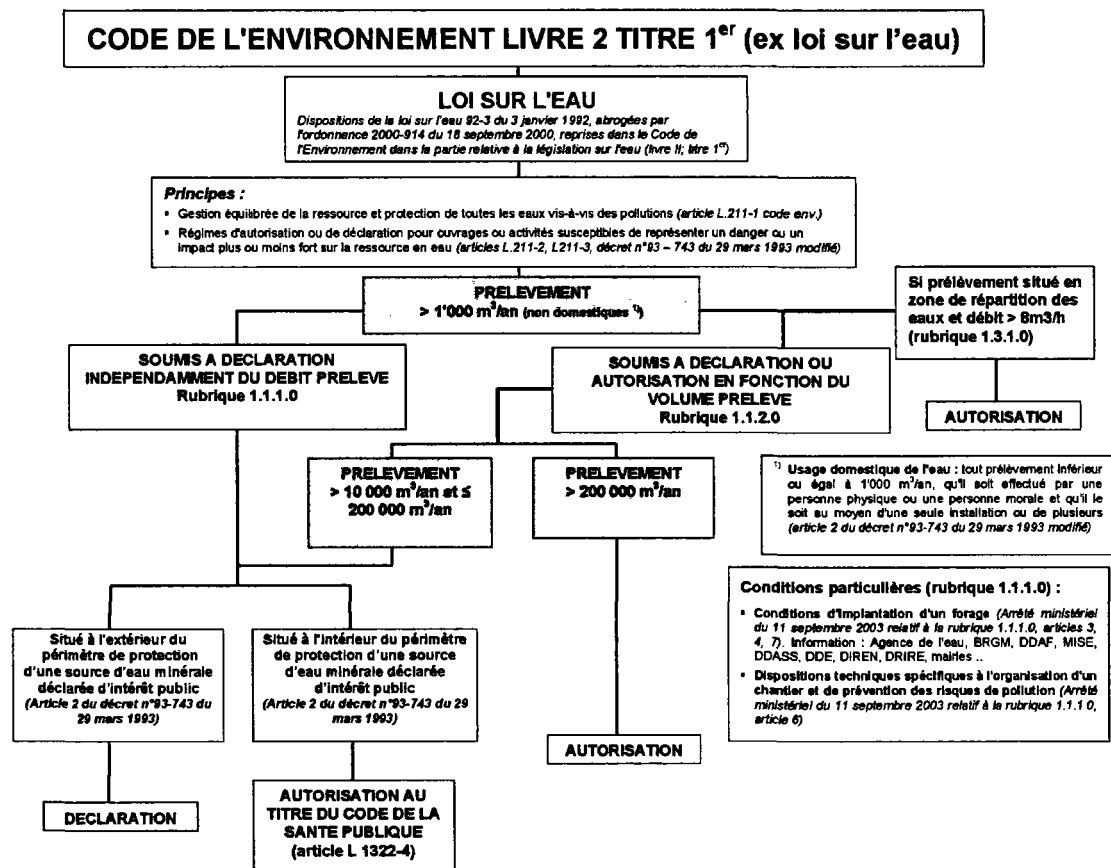


Illustration 15 – Présentation des dispositions du Code de l'Environnement

3.2.1. Prélèvements d'eau soumis à déclaration ou autorisation

Sont soumis à autorisation de l'autorité administrative les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter atteinte gravement à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique.

Sont soumis à déclaration les installations, ouvrages, travaux et activités qui, n'étant pas susceptibles de présenter de tels dangers, doivent néanmoins respecter les prescriptions édictées en application des articles L. 211-2 et L. 211-3.

a) Usage domestique de l'eau

Constituent un usage domestique de l'eau ou est assimilé à un usage domestique de l'eau, au sens de l'article L. 214-2 du code de l'environnement :

1. Les prélèvements et les rejets destinés exclusivement à la satisfaction des besoins des personnes physiques propriétaires ou locataires des installations et de ceux des personnes résidant habituellement sous leur toit, dans les limites des quantités d'eau nécessaires à l'alimentation humaine, aux soins d'hygiène, au lavage et aux productions végétales ou animales réservées à la consommation familiale de ces personnes.
2. Tout prélèvement inférieur ou égal à 1000 m³/an, qu'il soit effectué par une personne physique ou une personne morale et qu'il le soit au moyen d'une seule installation ou de plusieurs, ainsi que tout rejet d'eaux usées domestiques dont la charge brute de pollution organique est inférieure ou égale à 1,2 kg de DBO₅.

Tout prélèvement, puits ou forage réalisé à des fins d'usage domestique de l'eau doit faire l'objet d'une déclaration auprès du maire de la commune concernée. Les informations relatives à cette déclaration sont tenues à disposition du représentant de l'Etat dans le département et des agents des services publics d'eau potable et d'assainissement (Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006, Art. L. 2224-9).

b) Usage non domestique de l'eau

Les régimes d'autorisation et de déclaration ont été définis initialement par le décret n°93-743 du 29 mars 1993 relatif à la Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, lequel a été modifié par le décret n°2006-881 du 17 juillet 2006 actuellement en vigueur.

Le décret n°2006-881 du 17 juillet 2006 précise, dans l'annexe « Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du code de l'environnement » quels sont les ouvrages soumis à déclaration indépendamment des débits prélevés (rubrique 1.1.1.0) et quels ouvrages sont soumis à déclaration ou autorisation en fonction des débits prélevés (rubriques 1.1.2.0, 1.2.1.0, 1.2.2.0, 1.3.1.0).

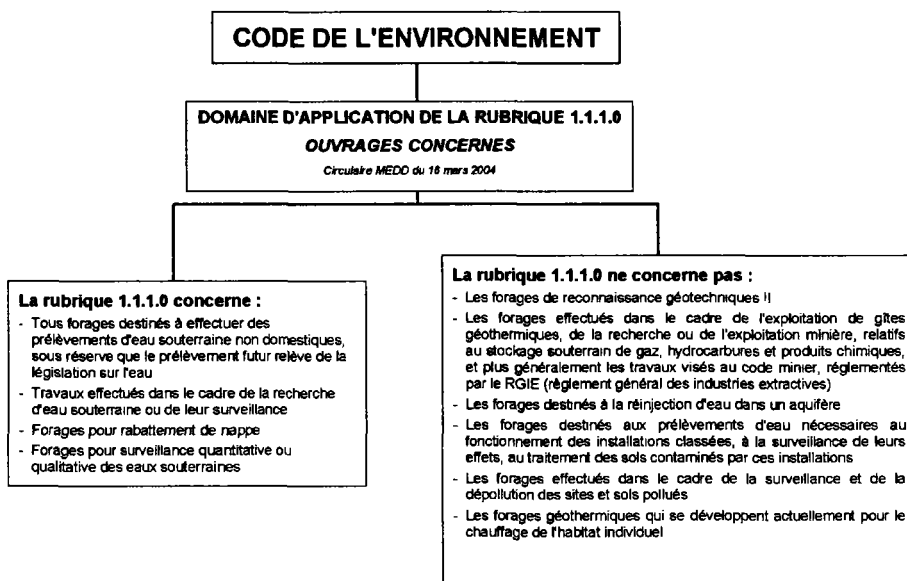


Illustration 16 – Domaine d'application de la rubrique 1.1.1.0 du Code de l'Environnement

- La rubrique 1.1.1.0 concerne tout sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau. Ces ouvrages sont soumis à déclaration à la DRIRE. La déclaration doit se faire par l'installateur à l'aide du formulaire de déclaration de forage. La déclaration doit être faite au plus tard un mois avant la mise en service, par lettre recommandée avec accusé de réception.
- La rubrique 1.1.2.0 concerne tous les prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant :
 1. Supérieur ou égal à 200 000 m³/an : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
 2. Supérieur à 10 000 m³/an mais inférieur à 200 000 m³/an : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.

c) Exceptions liées aux prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L.214-9 du code de l'environnement

- Rubrique 1.2.1.0. (décret n°2006-881). A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe :
 1. D'une capacité totale maximale supérieure ou égale à 1000 m³/h ou à 5% du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
 2. D'une capacité totale maximale comprise entre 400 et 1000 m³/h ou entre 2 et 5% du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.
- Rubrique 1.2.2.0. (décret n°2006-881). A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, dans un cours d'eau, sa nappe d'accompagnement ou un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe, lorsque le débit du cours d'eau en période d'étiage résulte, pour plus de moitié, d'une réalimentation artificielle. Toutefois, en ce qui concerne la Seine, la Loire, la Marne et l'Yonne, il n'y a lieu à autorisation que lorsque la capacité du prélèvement est supérieure à 80 m³/h : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
- Rubrique 1.3.1.0. (décret n°2006-881). A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L. 211-2 du code de l'environnement, ont prévu l'abaissement des seuils :
 1. capacité supérieure ou égale à 8 m³/h : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
 2. dans les autres cas : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.

3.2.2. Rejet d'eau soumis à déclaration ou autorisation

- En cas de rejet dans un réseau ou dans le milieu naturel, l'Arrêté du 23 février 2001 paru en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 (JO n° 49

du 27/02/2001) fixe les prescriptions générales applicables aux rejets soumis à déclaration. L'article 8 de cet arrêté stipule que la température du rejet ne doit pas excéder 30°C et que la différence maximale de température entre l'eau prélevée et l'eau rejetée ne doit pas dépasser 11°C.

- Si le dispositif prévoit la réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie, la capacité totale de réinjection est soumise à (Code de l'environnement, Titre V, art L.214-1, rubrique 5.1.1.0) :

Supérieure ou égale à 80 m³/h : autorisation

Supérieure à 8 m³/h, mais inférieure à 80 m³/h : déclaration

- Si le dispositif prévoit la réinjection dans les eaux douces superficielles et qu'il est susceptible de modifier le régime des eaux, la capacité totale de rejet de l'ouvrage est soumise à (Code de l'environnement, Titre II, rubrique 2.2.1.0) :

supérieure ou égale à 10000 m³/j ou 25% du débit moyen interannuel du cours d'eau : autorisation

supérieure à 2000 m³/j ou à 5% du débit moyen interannuel du cours d'eau, mais inférieure à 10000 m³/j et à 25% du débit moyen interannuel du cours d'eau : déclaration.

3.2.3. Cas des nappes classées en zone de répartition des eaux

Dans chaque département concerné, la liste des communes incluses dans une zone de répartition des eaux est constatée par arrêté préfectoral publié au recueil des actes administratifs de la préfecture.

Les seuils d'autorisation ou de déclaration fixés à la rubrique 1.3.1.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié par le décret n° 2006-881 du 17 juillet 2006 sont applicables aux ouvrages, installations et travaux permettant un prélèvement dans les zones de répartition des eaux. (Décret n°94-354 du 29 avril 1994, modifié par le décret n°2006-881 du 17 juillet 2006, article 2) :

- Capacité supérieure ou égale à 8 m³/h : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
- Dans les autres cas : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.

3.2.4. Dispositions particulières

Lorsque des installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration en application du décret n°2006-881 du 17 juillet 2006 sont situés à l'intérieur du périmètre de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public, et comportent des opérations de sondage ou de travail souterrain, ces installations, ouvrages,

travaux et activités bénéficient de l'autorisation prévue à l'article L.1322-4 du code de la santé publique (Art. 2 du décret n°93-743 du 29 mars 1993, modifié par le décret n°2006-881).

Les conditions d'implantation d'un forage fixées par l'arrêté ministériel du 11 septembre 2003 relatif à la rubrique 1.1.1.0, articles 3, 4, 7) sont applicables. Information : Agence de l'eau, BRGM, DDAF, MISE, DDASS, DDE, DIREN, DRIRE, mairies...

Les dispositions techniques spécifiques à l'organisation d'un chantier et de prévention des risques de pollution fixées par l'arrêté ministériel du 11 septembre 2003 relatif à la rubrique 1.1.1.0, article 6 sont également applicables.

3.3. REGLEMENTATION DES INSTALLATIONS CLASSEES

L'autorisation d'exploiter délivrée au titre de la législation des installations classées pour l'environnement (ICPE) vaut autorisation au titre de la loi sur l'eau.

Aux termes de l'article 14, l'exploitant prend toutes dispositions nécessaires dans la conception et l'exploitation des installations pour limiter les flux d'eau. Notamment, la réfrigération en circuit ouvert est interdite sauf autorisation explicite par arrêté préfectoral. Bien qu'aucun texte ne définisse la notion de circuit ouvert, l'utilisation d'eau d'aquifères (même avec réinjection) pour l'alimentation d'une PAC utilisée en mode rafraîchissement, semble entrer dans ce cadre. Nous recommandons aux Maîtres d'ouvrages ou à leurs maîtres d'œuvre, pour le confirmer, d'interroger la DRIRE au cas par cas.

Selon la puissance électrique des compresseurs de la machine et conformément à la rubrique 2920 des ICPE, la mise en œuvre de PAC dont la puissance électrique est :

- comprise entre 50 kW et 500 kW est soumise à déclaration ;
- supérieure à 500 kW est soumise à autorisation.

Les installations de prélèvement d'eau sont munies d'un dispositif de mesure totalisateur. Ce dispositif est relevé journalièrement si le débit prélevé est susceptible de dépasser 100 m³/j, hebdomadairement si ce débit est inférieur. Ces résultats sont portés sur un registre éventuellement informatisé. En cas de raccordement, sur un réseau public ou sur un forage en nappe, l'ouvrage est équipé d'un dispositif de déconnexion.

Lors de la réalisation de forages en nappe, toutes dispositions sont prises pour éviter de mettre en communication des nappes d'eau distinctes, sauf autorisation explicite dans l'arrêté d'autorisation, et pour prévenir toute introduction de pollution de surface, notamment par un aménagement approprié vis-à-vis des installations de stockage ou d'utilisation de substances dangereuses.

3.4. LE CODE DE LA SANTE PUBLIQUE

Le code de la santé publique s'applique au cas particulier des forages destinés à un usage alimentaire. Si l'ouvrage destiné à un usage thermique dans une opération de PAC est également utilisé, en second usage, pour un usage alimentaire (notamment eau destinée à la consommation humaine ou utilisée dans l'industrie agroalimentaire), il tombe sous le coup du code de la santé publique. Dans ce cas, l'ouvrage est soumis à autorisation (articles R1321-6 à R1321-10 et R1321-14 du code de la santé publique).

Le code de la santé publique s'applique également aux installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration au titre de la loi sur l'eau réalisés à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée des points de prélèvements d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines et à l'intérieur des périmètres de protection des eaux minérales (*article 2 du décret n° 93-743 du 29 mars 1993*). Ces ouvrages relèvent alors du régime de l'autorisation.

3.5. DEMARCHES ADMINISTRATIVES

Les démarches administratives liées à la mise en œuvre de PAC sur nappe sont les suivantes.

L'exploitant doit effectuer la demande d'autorisation ou la déclaration auprès du préfet de département. La préfecture est le guichet d'entrée unique de l'exploitant. Le dossier sera ensuite instruit par le service compétent.

Dans le cadre d'une installation de PAC sur nappe, il convient de prendre en compte à la fois les dispositions en matière de *police de l'eau*, et le cas échéant, les dispositions relatives à la *police des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)*.

En effet, lorsque le projet de captage (ou de rejet) en nappe est nécessaire au fonctionnement d'une ICPE, une seule démarche est nécessaire. La déclaration ou la demande d'autorisation au titre des ICPE à valeur de demande au titre de la loi sur l'eau (article L 214-1 du code de l'environnement).

3.6. PRINCIPAUX MECANISMES D'ACCOMPAGNEMENT

Les principaux mécanismes d'accompagnement du développement de la géothermie sont exposés ci-après.

a) Certificats d'économie d'énergie (CEE)

La loi 2005-781 du 13 Juillet 2005 (loi POPE) met en place un mécanisme déjà éprouvé par ailleurs, en particulier en Angleterre : les certificats d'économie d'énergie (CEE). Ce dispositif repose principalement sur l'obligation pour les fournisseurs d'énergie de déclencher chez leurs clients la réalisation d'économies d'énergie.

Le but des CEE est de relancer les économies d'énergie là où existent des gisements importants, mais diffus et difficiles d'accès (notamment dans les secteurs résidentiels et tertiaires), en mobilisant les acteurs du Marché (offre/demande) sans recourir à des subventions. Il s'agit donc d'un nouveau mécanisme de financement des projets d'efficacité énergétique adapté à un Marché libéralisé venant en complément d'outils publics existants (crédits d'impôt, subventions...). Grâce à la création d'un véritable Marché de l'efficacité énergétique, le dispositif des CEE devrait ainsi permettre d'injecter 500 à 1000 millions d'euros dans les trois années à venir. Seule serait définie la période de rodage du dispositif (2006-2008) à l'issue de laquelle 54 TWh d'économie d'énergie devront avoir été réalisés. Cet objectif de 54 TWh représente environ 2,13 TWh d'économie par an, soit 0,14 % de la consommation française annuelle totale, dont 1 TWh pour les réseaux de chaleur ou de froid.

Le principe du dispositif CEE est le suivant : l'obligation d'économie d'énergie s'impose aux principaux opérateurs (EDF, GDF, CPCU, etc.) qui fournissent au moins 400 GWh d'énergie finale par an (ce qui représente une vingtaine d'obligés). Les fournisseurs de fioul sont également soumis à obligation. Cependant, le Marché étant constitué d'une myriade de petites entreprises, la loi POPE a prévu explicitement une possibilité de regroupement. Pour l'instant, les fournisseurs de carburants ont été exclus du dispositif. Pour s'acquitter de cette obligation, les opérateurs disposent de trois voies possibles (variantes) :

- investir sur leur propre patrimoine ;
- inciter, par de la sensibilisation ou l'octroi d'aides financières, les clients (particuliers, petites entreprises, collectivités locales...) à réaliser des investissements économies en énergie ;
- acquérir des certificats d'économie d'énergie auprès d'autres acteurs (acteurs dits éligibles).

C'est pourquoi ce dispositif s'accompagne de la mise en place d'un marché de CEE. L'offre de certificats provient de toute personne morale (acteur éligible) présentant un programme d'actions de taille suffisante (au moins 3 GWh d'économies d'énergie finale réalisées par programme, actualisées sur toute la période du programme présenté). Le dossier devra être validé par les DRIRE. La demande de certificats vient des « Obligés », qui doivent atteindre leurs objectifs d'économies d'énergie fixés par décret, en complétant éventuellement leurs propres économies par l'achat de certificats auprès d'acteurs éligibles. Ainsi, ce dispositif ouvre à d'autres acteurs (collectivités publiques et territoriales, notamment), la possibilité de participer à la réalisation d'économies d'énergie. Le CEE est immatériel, il est inscrit dans un registre national et peut faire l'objet de tractations négociées. Les certificats d'économies d'énergie concernent la géothermie, puisque le bénéfice des CEE a été élargi aux énergies renouvelables pour le chauffage des bâtiments, lorsqu'elles viennent se substituer aux énergies fossiles. C'est le cas de la géothermie sur réseaux de chaleur.

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie devrait ainsi constituer une source de financement appréciable permettant de lancer de nouveaux projets de géothermie,

sachant que les premières évaluations de projets potentiels ont montré que parmi les actions standards proposées, la géothermie sur réseaux de chaleur offrait les coûts de certificats parmi les moins élevés.

b) Opérations standardisées

Le décret du 23 mai 2006, relatif aux conditions d'application des certificats d'économies d'énergie, a introduit la notion d'opérations standardisées : un calcul forfaitaire, attribué pour une installation nouvelle type, par rapport à une situation de référence. Les économies réalisées permettent aux obligés de revendiquer des certificats. Le dispositif est entré en vigueur le 1^{er} juillet 2006. L'article 2 du décret précise que les opérations standardisées d'économies d'énergie sont définies par arrêtés du ministre chargé de l'énergie. À ce titre, la DGEMP a confié à cinq groupes de travail (industrie, bâtiment, résidentiel et tertiaire, service énergétique, transport, collectivités territoriales et ENR) l'établissement de fiches-types de ces opérations standardisées sous la houlette de l'ATEE (Association Technique Energie Environnement) et de l'ADEME (Agence gouvernementale De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). À l'heure actuelle, 2 fiches concernent les pompes à chaleur géothermiques :

- système eau/eau en résidentiel ;
- système eau/eau pour le tertiaire ;

Un autre système concerne la géothermie : production de chaleur renouvelable en réseau (France métropolitaine). Les 3 fiches types adaptées à la géothermie sont données en annexe 1 du rapport.

c) Dispositif incitatif de l'ADEME

L'ADEME a mis en place un dispositif d'aides financières spécifique à la géothermie, adopté le 14/02/08, et permettant de financer : (i) des études de faisabilité et des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage, ou (ii) des investissements tant pour la réhabilitation d'opérations existantes que pour la réalisation de nouvelles opérations. Les aides sont ramenées au coût du MWh géothermal produit. Quatre types d'aides sont proposés :

Les aides à la décision

Pour accompagner les organismes et collectivités à étudier l'opportunité d'utilisation des ENR, l'ADEME propose des outils méthodologiques et des aides financières, sous forme de subventions, aux organismes des secteurs concurrentiel et non concurrentiel qui font appel à un prestataire pour réaliser plusieurs types d'interventions : pré diagnostic, diagnostic ou étude de faisabilité. Le système général des aides à la décision² s'applique sans dérogation, hormis pour les projets de géothermie dont l'ampleur n'est pas compatible avec les plafonds prévus par le système général. Pour les opérations de géothermie profonde, le plafond de l'assiette est porté à 300 000 €, avec un taux d'aide maximum de 50 %.

² Délibération n° 06-5-3 du Conseil d'administration du 11 octobre 2006.

Les aides à la démonstration

Elles concernent des premières mises en œuvre de technologies issues de la R&D ou de technologies existantes transférées vers des applications nouvelles. L'ADEME propose d'aider ces opérations à un taux déterminé par une analyse économique. Dans tous les cas ce taux sera au maximum de 40 % et compatible avec l'encadrement communautaire des aides d'Etat en faveur de l'environnement en vigueur.

Les opérations exemplaires

Elles visent à introduire et développer, dans un territoire (par exemple, région ou département) ou un secteur d'activités (branches industrielles ou agricoles, par exemple), des technologies, des pratiques ou modes d'organisation permettant de progresser de manière exemplaire dans la voie d'un développement plus durable.

Les aides à la diffusion

Outre les aides mentionnées précédemment, par nature très sélectives, l'Agence propose, dans des domaines particuliers, des aides plus systématiques à la diffusion de technologies ou de bonnes pratiques, de manière à surmonter des obstacles de marché, notamment dans la perspective de la baisse importante des coûts attendue de la croissance des volumes commercialisés. Elles visent principalement à structurer les filières concernées.

d) Loi de finances 2007

En 2005, la loi de finances accordait 40 % de crédit d'impôt pour les pompes à chaleur géothermiques (ayant un COP supérieur ou égal à 3). La loi de finances 2006 portait ce crédit d'impôt à 50 % pour l'achat de pompes à chaleur géothermique dont le COP est supérieur ou égal à 3. La loi de finances 2007 maintient le crédit d'impôt à 50 %, en revanche le COP doit à présent être au minimum de 3.3, selon les dispositions des arrêtés du 12 décembre 2005 et du 13 novembre 2007. Le crédit d'impôt porte sur le prix des équipements et des matériaux, hors main d'œuvre (travaux de forage et pose des sondes ou de la pompe par exemple). L'installation doit être réalisée par une entreprise et une facture (ou une attestation fournie par le vendeur ou le constructeur du logement neuf), qui porte la mention des caractéristiques requises dans l'arrêté, doit être établie pour les services fiscaux.

En cas d'aide publique supplémentaire à l'investissement (Conseil Régional, Conseil Général, Agence nationale de l'habitat, etc.), par exemple pour l'achat d'équipements permettant d'utiliser les énergies renouvelables ou les pompes à chaleur, le calcul du crédit d'impôt se fait sur le coût des équipements déductions faites des aides publiques, selon les modalités qui seront définies dans l'instruction fiscale.

Les particuliers peuvent également profiter du taux réduit de TVA (5,5 %) appliqué par les entreprises qui vendent le matériel et en assurent la pose, à condition que la pompe à chaleur soit installée dans une résidence principale ou secondaire achevée depuis plus de deux ans. Pour un même contribuable, le montant des dépenses donnant droit au crédit d'impôt en faveur du développement durable ne peut excéder la somme de 8 000 € pour une personne seule et de 16 000 € pour un couple. Ce pla-

Le fond est majoré pour tenir compte de la situation de famille du contribuable. Ces montants sont majorés de 400 € par personne à charge (dont le premier enfant) au sens des articles 196 à 196 B du Code général des impôts. Cette majoration est portée à 500 € pour le second enfant et 600 € par enfant à compter du troisième.

e) Garantie AQUAPAC

Pour palier l'incertitude locale sur la présence et/ou la pérennité de la nappe d'eau souterraine, la garantie Aquapac® a été initiée en 1983 sous l'égide de l'ADEME (AFME à l'époque), d'EDF et du BRGM. Elle offre une double garantie portant sur les ressources pérennes en eau souterraine :

- La garantie « Recherche » couvre le risque d'échec consécutif à une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux de cotisation pour cette garantie est désormais de 5 %³ du montant des ouvrages garantis en recherche.
- La garantie « Pérennité » couvre le risque de diminution du débit exploitable à terme qui serait liée à une détérioration prouvée de la ressource (non considérées les variations saisonnières du débit et/ou les cycles hydrologiques statistiquement normaux). La durée de cette garantie est de 10 ans⁴, et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4 % du montant des ouvrages garantis en pérennité. Cette garantie est limitée aux installations d'une puissance thermique de 30 kW minimum.

La gestion de la garantie est confiée à la SAF Environnement. L'instruction des dossiers de demande de garantie et la décision d'octroi de garantie sont décidées par un comité Aquapac composé de trois représentants de : l'ADEME, de EDF et du BRGM. Ce comité se réunit périodiquement, avec la participation de la SAF Environnement. Il statue également sur la recevabilité des éventuels sinistres. Plus récemment, des mécanismes financiers ont été mis en place pour la production de chaleur géothermique, aides à laquelle la filière Géothermie Très Basse Énergie peut prétendre accéder.

f) Conclusion

Toutes les mesures progressivement mises en place sont favorables au développement de la géothermie en général, des pompes à chaleur géothermiques utilisées dans le neuf ou dans la rénovation, pour assurer les besoins de chaleur et de rafraîchissement en particulier.

Les pompes à chaleur géothermiques contribuent en effet à la réduction des consommations d'énergies fossiles, à la valorisation énergétique (par leur COP) et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

³ Le taux initial de 10 % a été abaissé à 5 % depuis le 1^{er} septembre 2005.

⁴ La durée initiale de la garantie était de 5 ans et a été portée à 10 ans en 1997.

4. Bilan de la géothermie dans le département de l'Hérault

Afin de mettre en évidence des ressources en eau géothermale, des recherches et investigations ont déjà été réalisées dans le département de l'Hérault avec dans un certain nombre de cas l'exécution de sondages et forages. Certains de ces ouvrages ont été mis en exploitation et le sont encore, comme à Pézenas, à Montagnac (domaine de la Castillonne) et sur les communes de Lodève et du Puech. Le bilan des expériences géothermiques passées et actuelles réalisées dans l'Hérault est donné ci-après.

Des études générales d'évaluation de la ressource peuvent être en premier lieu citées, avec en particulier :

- l'étude de synthèse du potentiel géothermique du littoral méditerranéen de Marseille à Perpignan. Etude réalisée en 1983 par Geotherma S.A. et l'université de Bordeaux III. Cette étude concerne uniquement la partie littorale, mais examine les conditions de réservoir potentiel des différentes formations que l'on peut rencontrer jusqu'à des profondeurs supérieures à 2000 m. Cette étude définit l'extension potentielle de ces réservoirs représentés par les calcaires jurassiques sur le littoral du département de l'Hérault ;
- l'évaluation des possibilités offertes par la géothermie dans la vallée de l'Hérault. Rapport BRGM 80LRO355PR BRGM.

Des études plus ponctuelles et des sondages de reconnaissance ont été effectués sur les sites de Sète (les Métairies), Agde (Cap d'Agde), Montpellier (Bagatelle et Antigone).

Des études et des travaux ont eu lieu sur les sites de Montagnac (La Castillonne), Pézenas et le secteur de Lodève - Le-Puech. Sur ces trois sites, les ressources en eau souterraine sont exploitées de la manière suivante :

- Montagnac (la Castillonne) : utilisation de l'eau pour la reproduction et l'élevage de poissons (silure glanis notamment) ;
- Pézenas : utilisation des calories de l'eau pompée pour le chauffage de l'eau utilisée par la piscine de la ville ;
- Lodève et le Puech : utilisation de l'eau pour la climatisation de serres.

Ces trois sites sont encore exploités et ont fait l'objet d'autorisation d'exploitation de gîte géothermique au titre du Code Minier. La description des objectifs et des résultats des investigations réalisées sont décrites ci après pour chaque site concerné du département de l'Hérault.

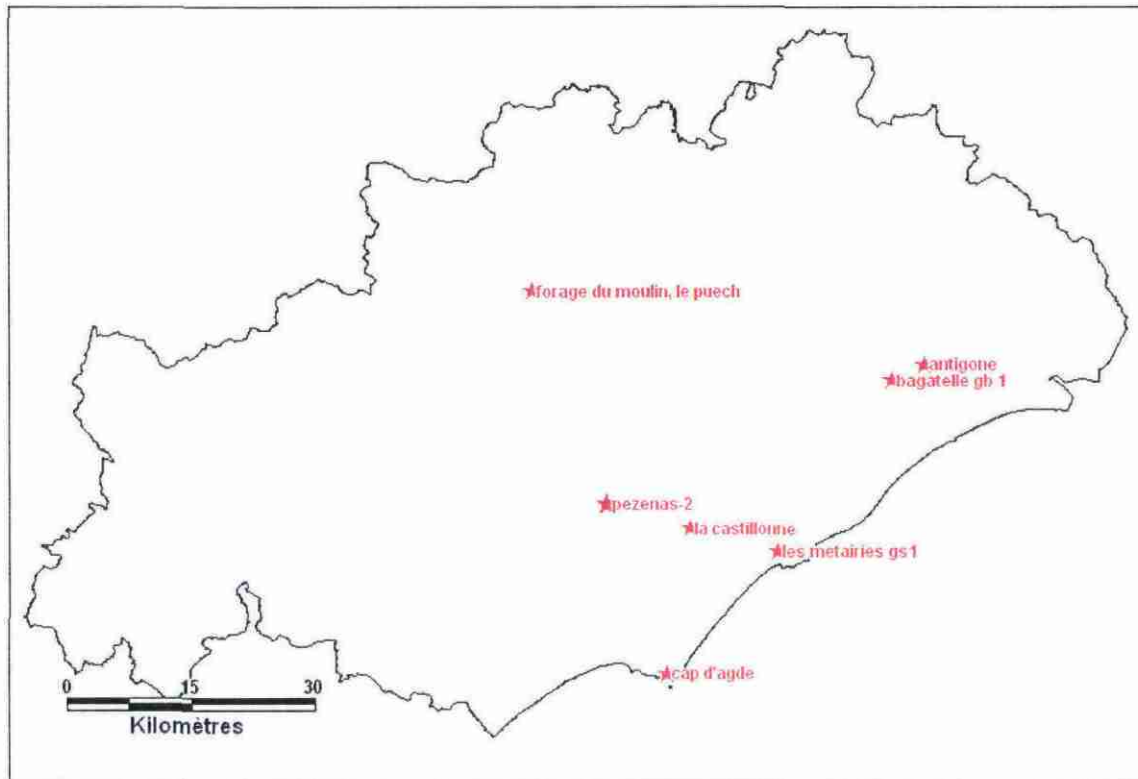


Illustration 17 – Carte de situation des opérations géothermiques dans l'Hérault

4.1. SITES AYANT FAIT L'OBJET D'ETUDES ET DE RECHERCHES

4.1.1. Montpellier Bagatelle

Objectif : étude de faisabilité d'un réseau de chauffage alimenté par eau géothermale pour chauffer un ensemble de 700 à 800 logements situés de la Z.A.C. du Val de Croze à Montpellier (Illustration 17).

Date : 1981-1982

Maitre d'ouvrage : OPAC Montpellier

Financement : OPAC Montpellier, Comité géothermie du Ministère de l'Industrie, Commission des Communautés Européennes.

Réalisation : étude de faisabilité et sondage de reconnaissance.

Résultats : forage réalisé jusqu'à 700 m de profondeur. Il a traversé les calcaires du Jurassique supérieur de 288 à 700 m. Le débit est de 36 m³/h pour 44,5 m de rabattement. La température de l'eau en tête d'ouvrage est de 27,8°C. L'eau est moyennement minéralisée (1,2 g/l). Le sondage a été arrêté à cette profondeur. Les tests de pompage de longue durée ont mis en évidence une vidange rapide du réservoir juras-

sique moyen et l'impossibilité d'y envisager une exploitation à débit élevé dans ce secteur.

Etat actuel : sondage de reconnaissance rebouché.

4.1.2. Montpellier Antigone

Objectif : étude de faisabilité de l'exploitation de ressources géothermiques pour le nouveau quartier d'Antigone à Montpellier (Illustration 17).

Date : 1982-1983

Maitre d'ouvrage : Société d'Equipement de la Région Montpelliéraine (SERM)

Financement : Société d'Equipement de la Région Montpelliéraine (SERM)

Réalisation : sondage de reconnaissance, puis étude de faisabilité.

Résultats : forage réalisé jusqu'à 1200 m de profondeur. Il a traversé les calcaires du Jurassique moyen de 703 à 1110 m. La température de l'eau en tête d'ouvrage est de 43,1°C et 49,5°C en fond de trou. Par contre, les conditions aux limites du réservoir ne sont pas favorables à une exploitation de longue durée à un débit élevé. L'évolution du niveau de l'eau en cours de pompage correspond à la vidange d'un réservoir à limites proches insuffisamment réalimenté. En conséquence, même si la température de l'eau est intéressante, le débit potentiel d'exploitation sur ce site ne peut être que limité, eu égard au compartimentage très marqué du réservoir et donc à une alimentation réduite.

Etat actuel : forage reconditionné en tête et rebouché. Le projet (1991-1992) d'utiliser cette eau pour l'alimentation d'un centre de thermalisme et de remise en forme n'a pas abouti.

4.1.3. Montpellier Université

Objectif : étude de faisabilité de l'exploitation de ressources géothermiques du secteur universitaire nord de Montpellier.

Date : 1983

Maitre d'ouvrage : Académie de Montpellier

Financement : Académie de Montpellier

Réalisation : partie sous sol de l'étude de faisabilité

Résultats : aucune investigation

4.1.4. Sète

Objectif : utilisation de la géothermie dans la zone limitrophe du nouvel hôpital et de la ZAC des Métairies. Projet de climatiser en utilisant les calories de l'eau souterraine contenue dans les calcaires jurassiques de la terminaison de la Gardiole (Illustration 17).

Date : 1983

Maitre d'ouvrage : Ville de Sète

Financement : Ville de Sète, Conseil Général de l'Hérault, Agence Française pour la Maitrise de l'Energie.

Réalisation : étude de faisabilité et sondage de reconnaissance.

Résultats : forage réalisé jusqu'à 976 m. Le sondage a été arrêté à cette profondeur pour des raisons de sécurité (sondage de reconnaissance non équipé pour maîtriser d'éventuelles venues de gaz pouvant être obtenues en cas de poursuite de la foration dans l'aquifère inférieur liasique (Hettangien) Le sondage a cependant recoupé le réservoir représenté par le Jurassique supérieur entre 45 et 390 m. Le forage a été équipé par un tubage plein en 10" 3/4 jusqu'à 173 m et d'un tubage plein de 7" de 210 à 600 m. Le sondage n'est pas tubé en dessous de 600 m. L'aquifère rencontré entre 173 et 210 m correspond aux calcaires du Jurassique supérieur. La température de l'eau obtenue était de 47,9°C pour un débit de production de 120 m³/h. L'eau est de type chloruré sodique avec une minéralisation de 12 g/l. La productivité est élevée avec un débit de 120 m³/h pour un rabattement de 24 m. Durant l'essai de pompage de 135 heures, aucune influence n'a été enregistrée sur les forages d'exploitation d'eau thermale de Balaruc.

Etat actuel : le sondage de reconnaissance a été cimenté. Il se localise dans la ZAC des Métairies.

4.1.5. Agde (Cap d'Agde)

Objectif : étude de faisabilité pour l'alimentation de piscines et d'aires de loisirs du complexe touristique du Cap d'Agde (Illustration 17).

Date : 1981-1982

Maitre d'ouvrage : SEBLI Béziers

Financement : SEBLI Béziers, Comité géothermie du Ministère de l'Industrie, Commission des Communautés Européennes.

Réalisation : étude de faisabilité et sondage de reconnaissance.

Résultats : forage réalisé jusqu'à 1602 m de profondeur. Le forage avait pour objectif le captage du Jurassique supérieur. La profondeur initialement prévue était de 600

mètres. Deux décisions ont été prises successivement pour un premier approfondissement de 600 à 1100 mètres, et un second de 100 à 1600 mètres. Le forage n'a pas atteint la cible représentée par les calcaires jurassiques.

Etat actuel : forage rebouché.

4.1.6. Lunel (Mas Saint-Pierre)

Objectif : étude de faisabilité de l'exploitation de ressources géothermiques du secteur de Lunel pour le chauffage de serres. La cible envisagée correspondait aux calcaires jurassiques sous couvertures et reconnus par différents sondages pétroliers existant dans ce secteur.

Date : 1985

Maitre d'ouvrage : Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural du Languedoc Roussillon (SAFER).

Financement : Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural du Languedoc Roussillon (SAFER).

Réalisation : partie sous sol de l'étude de faisabilité.

Résultats : pas d'investigation réalisée.

4.2. SITES EXPLOITES

4.2.1. Pézenas

Objectif : développement de l'exploitation de la géothermie dans l'agglomération de Pézenas. L'ancien forage pétrolier Pézenas 2 (Illustration 17) réalisé en 1949 est exploité pour les besoins de la piscine de Pézenas depuis 1970. Depuis 1990, cette eau est aussi exploitée pour une pisciculture avec élevage de poissons exotiques par la société AQUSEM. Une autorisation d'exploitation de gîte géothermique a été délivrée par arrêté préfectoral du 22 décembre 1983 pour un débit volumique de 965 000 m³/an et un débit calorifique de 18 millions de thermies par an. Cette autorisation d'exploitation a été renouvelée en 2004 pour une durée de 15 ans.

Date : 1984 (reconditionnement du forage)

Maitre d'ouvrage : Ville de Pézenas

Financement : Ville de Pézenas

Réalisation : reconditionnement du forage pétrolier existant Pézenas 2.

Résultats : cet ancien forage pétrolier a été reconditionné. Il capte les calcaires et dolomies du Jurassique supérieur entre 694 et 735 m de profondeur. L'ouvrage est artésien avec un débit pouvant dépasser 100 m³/h. Une pompe apte à débiter 150 m³/h peut être utilisée en cas de besoin important. La capacité de production de ce site pourrait atteindre 300 à 400 m³/h à partir d'un nouveau forage conditionné pour une telle exploitation. La température de l'eau avoisine 36 à 37°C.

Etat actuel : forage exploité pour la piscine municipale de Pézenas après un refroidissement afin d'obtenir une eau à 30 -32°C. L'eau est aussi utilisée par la société AQUEM à des fins aquacoles pour l'élevage de poissons exotiques, les poissons ayant besoin d'une eau chaude (entre 25 et 28°C).

4.2.2. Montagnac (La Castillonne)

Objectif : climatiser des serres en exploitant l'eau souterraine contenue dans l'aquifère captif du Jurassique supérieur présent sous couverture à l'Ouest du bassin de Villeveyrac (Illustration 17). En fonction de la qualité de l'eau obtenue sur le forage et notamment la température, l'objectif a été modifié.

Date : 1987

Maitre d'ouvrage : MM. RIBES, domaine de la Castillonne 34 Montagnac.

Financement : MM. RIBES, Agence Française pour la Maitrise de l'Energie (AFME), Communauté européenne

Réalisation : forage réalisé en 1986.

Résultats : Forage de 1487 m de profondeur. L'aquifère représenté par des calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur a été atteint à 1145 m sous des formations essentiellement marneuses du Crétacé inférieur. Le Jurassique est capté entre 1147 et 1487 m. Les essais de production ont été réalisés à 287 m³/h pour un rabattement de 52 m dont environ 50 m de pertes de charge liées à l'équipement de l'ouvrage. Le forage est artésien, sauf en période d'étiage. Le débit d'artésianisme peut atteindre 200 m³/h. Une pompe permet de rabattre le niveau de l'eau en période estivale. La température de l'eau est de 26°C, soit un gradient voisin de 1°C par 100 m (contre 3°C par 100 m de manière générale). Sur ce site, les capacités de production d'eau sont très importantes et dépassent largement la production actuelle. L'autorisation d'exploitation a été renouvelée en 2008 pour une période de 15 ans.

Etat actuel : forage exploité (artésianisme et partiellement pompage) pour l'alimentation de bassins de reproduction et d'élevage de poissons, notamment des silures glanis. Durant 85% du temps, le forage est exploité à un débit compris entre 80 et 140 m³/h.

4.2.3. Lodève (Le Puech)

Objectif : climatisation de serres

Date : site exploité depuis 1980 environ

Maitre d'ouvrage : Sarl Les Serres du Lodévois

Travaux réalisés : la recherche de gisement uranifère dans la région de Lodève (bassin permien) a mis en évidence, à travers les forages de reconnaissance réalisés d'abord par le CEA et ensuite la COGEMA, l'existence d'un gisement géothermique entre la faille d'Olmet, à l'Ouest et la rivière la Lergue à l'Est. De nombreux sondages miniers ont ainsi permis de détecter de l'eau géothermale à des profondeurs comprises entre 100 m et 208 m par rapport à la surface topographique.

Etat actuel : la SARL Les Serres du Lodévois exploite de l'eau géothermale sur les sites de St-Fulcran (forages F2, F4, F5 produisant un débit moyen de 25 m³/h et un débit thermique d'environ 5 millions de thermies) et de Grand-Champ (forage F6 produisant un débit volumique moyen de 40 m³/h et un débit thermique de moins de 3 millions de thermies), sur les communes respectives de Lodève et du Puech pour la climatisation de serres (Illustration 17). Ces forages ont été respectivement mis en service en 1979 pour les quatre premiers et 1985 pour le dernier. L'eau extraite atteint une température de 30°C à St-Fulcran et 50°C à Grand-Champ.

En raison de la remontée importante de gaz carbonique liée au contexte géologique, l'eau a des caractéristiques particulières. Le gaz joue alors le rôle de moteur de l'artésianisme.

Le permis d'exploitation de gite géothermique d'Olmet a été accordé par arrêté préfectoral du 22 décembre 1980, avec une extension du volume d'exploitation accordée le 12 mai 1987. Ce permis d'exploitation est valide jusqu'en avril 2011.

Le permis d'exploitation couvre la quasi-totalité de la zone hydrogéologiquement intéressante en termes de ressources géothermiques à basse température de ce secteur.

L'Illustration 47 fournit la liste des ouvrages à fins géothermiques déclarés dans la banque du sous-sol (BSS).

5. Contexte des eaux souterraines dans le département de l'Hérault

En accord avec le cahier des charges encadrant l'opération, le texte en avant fournit un rappel du contexte des eaux souterraines dans l'Hérault avec comme perspective l'utilisation à des fins géothermiques des aquifères superficiels et de ceux situés à moyenne profondeur. Ce rappel du contexte des eaux souterraines dans le département de l'Hérault prépare l'évaluation du potentiel géothermique développé dans le chapitre 6.

Le territoire du département est constitué de trois entités géologiques distinctes qui possèdent chacune un fonctionnement hydrogéologique spécifique : au Nord-Ouest, un domaine de socle, dans sa partie médiane et nord orientale, un domaine de calcaires karstifiés, qui peuvent affleurer jusqu'en bordure de Mer (mont Saint-Clair à Sète notamment) et au Sud, un domaine sédimentaire miocène et plio-quadernaire. En se basant sur des critères de lithologie et de structure des formations aquifères, d'ordre de grandeur de la perméabilité, de la nature et de l'épaisseur du recouvrement, il est possible d'établir une typologie des aquifères⁵.

5.1. DOMAINES OU SYSTEMES AQUIFERES ALLUVIAUX

Les domaines et systèmes aquifères alluviaux sont d'une part les alluvions récentes et anciennes (terrasses plus ou moins préservées de l'érosion) en liaison avec un cours d'eau, notamment l'Hérault, l'Orb, le Lez, la Lergue, la Thongue, la Peyne, le Libron et le Vidourle et d'autre part les dépôts alluviaux dont la nappe n'est pas en continuité avec un cours d'eau (aquifère villafranchien entre le Lez et le Vidourle). Les ressources en eau sont essentiellement contenues dans les alluvions récentes des cours d'eau que sont l'Hérault, y compris la Lergue et l'Orb et dans l'aquifère villafranchien entre Mauguio et Lunel.

Au niveau des fleuves côtiers et de leurs affluents, la nappe contenue dans les alluvions récentes et les basses terrasses est généralement en liaison étroite avec le plan d'eau superficiel. Les ouvrages fonctionnent alors en réalimentation induite. L'épaisseur de ces alluvions dépasse rarement 15 à 20 m. Par contre, cette épaisseur d'alluvions peut devenir plus importante dans les parties aval de l'Hérault, en aval de l'A9 et pour l'Orb en aval de Béziers. Elle est de 24 m au niveau du champ captant de Florensac sur l'Hérault.

Les terrasses plus anciennes constituent un lieu de stockage, mais qui se dénoie rapidement. Les alluvions anciennes sont représentées par les dépôts mis en place au

⁵ L'Annexe 2 fournit par ailleurs la liste des entités hydrogéologiques pour le département de l'Hérault à laquelle se réfère l'atlas géothermique, ainsi que les ouvrages géothermiques déclarés dans la Banque des données du sous-sol (BSS).

Villafranchien et composées de cailloutis, sables et passées argileuses. C'est le cas des formations villafranchiennes à l'Est de Montpellier, qui s'étendent jusqu'au Vidourle, et sont localement surmontées d'alluvions quaternaires relativement fines et limoneuses.

5.2. DOMAINES OU SYSTEMES AQUIFERES SEDIMENTAIRES KARSTIQUES

Les formations calcaires potentiellement karstifiées couvrent plus d'un tiers de la superficie du département de l'Hérault et constituent d'importants réservoirs en eau souterraine. Les principaux réservoirs karstiques sont représentés par :

- au Nord du département, les aquifères des plateaux calcaires du Causse du Larzac-Sud, rattachés à la région des Grands Causses (système de la Séranne et de la bordure méridionale de la Vis, système de la Buèges, système de Saint-Michel à Saint-Pierre-de-la-Fage, secteur du Nord de Lodève et du massif de l'Escandorgue, secteur du Causse de Blandas), ainsi que des plateaux de l'avant Causse de St-Affrique ;
- à l'Est et au centre Est du département, les aquifères constitués par les reliefs calcaires de la zone de transition entre le Larzac-Sud et la région des garrigues nord-montpelliéraines (système du Gangeois et de Thaurac), sur la bordure sous-cévenole du Massif Central ;
- les systèmes aquifères de la partie orientale du département, au Nord de la structure chevauchante du Pli de Montpellier dans la région des Garrigues. Il s'agit de formations appartenant au Jurassique et Crétacé (compartiments oriental et occidental de la source du Lez, Causse de l'Hortus, systèmes des Cents-Fonts et des Fontanilles, etc.) ;
- les systèmes aquifères du pli de Montpellier qui affleurent entre Lunel et Montpellier d'une part et sur le Causse d'Aumelas, la Montagne de la Mourre et la Gardiole à l'Ouest de Montpellier, d'autre part. Ces réservoirs sont essentiellement représentés par des calcaires jurassiques qui s'envoient vers le Sud sous des formations tertiaires et quaternaires ;
- le système aquifère des calcaires cambriens du Lodévois, qui se rencontre presque exclusivement sous couverture ;
- les systèmes karstiques primaires et tertiaires du Minervois, du Saint-Ponais et Saint-Chinianais.

5.3. DOMAINES OU SYSTEMES AQUIFERES DE SOCLE

Plusieurs entités hydrogéologiques de socle se situent dans la partie nord-ouest du département de l'Hérault. Il s'agit de terrains antécambriens et primaires de la Monta-

gne Noire dans sa zone axiale majoritairement métamorphique ainsi qu'au niveau des massifs granitiques qui l'entrecoupent.

Les limites de ces entités sont liées aux conditions géologiques, mais en fonction des caractéristiques des écoulements, des sous unités ont été distinguées à partir des limites des bassins versants des eaux superficielles. Hormis la zone d'altérites, les formations de socle présentent soit une perméabilité de fissures liée à l'altération, soit une perméabilité de fractures, liée à la fracturation tectonique.

5.4. DOMAINES OU SYSTEMES AQUIFERES HETEROGENES

Les entités classées en domaines hétérogènes correspondent aux :

- formations de l'arc de Saint-Chinian représentant une branche du rameau pyrénéo-provençal du Languedoc-Roussillon, dans la partie externe de la chaîne des Pyrénées ; les réservoirs correspondant à l'Arc de Saint-Chinian sont très compartimentés. Il s'agit d'un domaine très complexe, avec alternance de niveaux à perméabilité de fissures (calcaires et marno-calcaires plus ou moins karstifiés) et de niveaux imperméables (marnes) datés du Trias et de l'Eocène. Les niveaux calcaires aquifères se rencontrent notamment dans l'Hettangien, le Rognacien et le Lutétien. Les circulations se font à la faveur des failles qui peuvent drainer de grandes surfaces. Les circulations karstiques semblent moins importantes. Par ailleurs, des nappes isolées par des horizons imperméables existent dans les calcaires du Lias bien karstifiés.
- formations primaires schisteuses, marneuses, gréseuses et arkosiques à intercalations de calcaires et dolomies des nappes et écailles du flanc méridional de la Montagne Noire ; les ressources en eau souterraine des formations paléozoïques du flanc méridional de la Montagne Noire sont essentiellement recelées au sein de calcaires et dolomies du Géorgien supérieur, du Dévonien et du Viséen, et aussi au sein de récifs enveloppés dans des schistes (au niveau des nappes de Faugères et Cabrières et dans l'unité de Pardailhan notamment).
- à l'extrémité des Monts de Lacaune avec les unités complexes des monts de Saint-Gervais, d'Avène-Mendic et de Mélagues. ces formations calcaires et dolomitiques constituent des réservoirs monocouches discontinus, fortement karstifiées à la fois en surface et en profondeur, en raison des longues périodes d'émersion et de la fissuration d'origine tectonique. Les massifs présentent une porosité de microfissures, qui leur permet de constituer d'importants réservoirs dans les zones noyées.

5.5. DOMAINES OU SYSTEMES AQUIFERES SEDIMENTAIRES NON KARSTIQUES

Dans le département de l'Hérault, les principaux domaines ou systèmes sédimentaires (non karstiques) correspondent aux secteurs suivants :

- la région d'Agde-Valras où s'individualise l'aquifère des sables astiens recouvert localement par les alluvions de l'Orb, de l'Hérault et plus accessoirement du Libron ; le réservoir est formé de sables calcaires jaunes plus ou moins grossiers à passées localement consolidées et dont l'épaisseur moyenne varie entre 10 et 30 m. Ces formations, qui affleurent très localement dans la région de Corneilhan et Nézignan l'Evêque, s'enfoncent vers le Sud sous l'ensemble du Pliocène continental à dominante argileuse. Le toit de ces sables astiens se situe à environ 100 m en bordure de mer. Vers la base, ces formations deviennent plus argileuses et renferment des lits de marnes bleuâtres, finement sableuses et micacées à faciès Plaisancien. Ce réservoir astien contient une nappe presque exclusivement captive.
- le Bas-Languedoc, dans toute la partie sud et ouest des basses plaines, représentée par des molasses, grès, calcaires et conglomérats. Ainsi, alternent des horizons pouvant s'avérer aquifères avec des niveaux semi-perméables à imperméables (sur le pourtour de l'étang de Thau, dans le bassin versant de l'Hérault, du Libron et de l'Orb notamment) ; les formations éocènes et Oligo-mio-pliocènes constituent un milieu poreux, très hétérogène, globalement peu perméable. Hormis dans le Lutétien, où les calcaires peuvent être franchement karstifiés, les calcaires sont généralement peu fissurés et présentent une teneur en argile élevée. Les nappes rencontrées ont une extension réduite. Plusieurs aquifères locaux et discontinus ont pu être distingués. Ces aquifères sédimentaires non karstiques sont très diversifiés avec des variations latérales de faciès importantes.
- la plaine littorale qui s'étend entre Montpellier et Sète, partiellement recouverte de sables, de marnes et limons tertiaires et quaternaires semi-perméables ; il s'agit de formations miocènes, d'une épaisseur de 100 à 150 m. Les calcaires du Burdigalien et de l'Helvétien recèlent des niveaux aquifères lenticulaires d'importance limitée. Ces formations sont surmontées par les dépôts pliocènes marins d'une épaisseur moyenne de 40 m, pouvant localement être nettement plus importante. La disposition lenticulaire de ces sables, grès, argiles et poudingues est responsable de l'établissement de nappes libres, captives ou semi-captives, sur de petites superficies. La productivité est très hétérogène et ne dépasse pas généralement quelques m³/h par forage.
- le bassin molassique et argilo-calcaire de Saint-Martin-de-Londres. Le mur de l'aquifère est constitué par un horizon de marnes infra-lutétiennes reposant en discordance sur les terrains du Crétacé du Causse de l'Hortus (limite de captivité de l'aquifère) ou sur les terrains calcaires de l'aquifère jurassique. Le réservoir est formé de calcaires lacustres peu épais de l'Eocène moyen, de calcaires et de marnes gréseuses de l'Eocène supérieur ; l'aquifère est monocouche, très peu karstifié. L'épaisseur des formations éocènes peut atteindre 250 à 300 m.
- le bassin secondaire de Bédarieux. Ces formations ont été classées en sédimentaire non karstique, en raison d'une perméabilité liée majoritairement à des interstices, même si des phénomènes de karstification existent localement. Ces deux niveaux aquifères sont représentés par les formations essentiellement dolomitiques du Dogger et par les dolomies hettangiennes, les deux horizons étant séparés par

des marnes du Lias supérieur. La perméabilité est mixte (perméabilité intersticielle et karstification). Cependant, la nature du réservoir tend vers un comportement de type poreux.

5.6. LES FORMATIONS BASALTIQUES

Les formations basaltiques qui affleurent sur des superficies limitées et qui sont très découpées peuvent constituer de très petits réservoirs notamment lorsqu'elles reposent sur des terrains peu perméables. Ces basaltes couronnent des formations très différentes, comme les calcaires karstifiés des causses du Larzac, les pélites du Lodevois autour du lac du Salagou, ou encore les formations schisteuses carbonifères ou argileuses triasiques de la partie orientale des Monts de Cabrières.

6. Potentiel géothermique du département de l'Hérault

Un atlas géothermique des ressources géothermiques potentielles présentées par les aquifères superficiels et ceux situés à moyenne profondeur (géothermie sur nappe) est réalisé. Une analyse multicritère est effectuée et permet d'établir, pour chaque commune du département, des cartes de synthèse des secteurs favorables à l'implantation de nouveaux projets de géothermie sur nappe. Des critères de sensibilité des aquifères à une utilisation géothermique sont également pris en compte dans l'analyse pour tenir compte notamment de l'éventuelle utilisation concurrente de la même ressource aquifère à d'autres fins que géothermiques (alimentation en eau potable notamment).

Les travaux BRGM portant sur la description des aquifères du département de l'Hérault et sur la synthèse hydrogéologique pour la région Languedoc-Roussillon et son actualisation en 2004 constituent les fondements de cette analyse de l'intérêt « géothermique » de chaque aquifère décrit par l'atlas géothermique.

Les ressources en eau souterraine du département de l'Hérault peuvent être utilisées en tant que vecteur de calories. Cette ressource en eau géothermale peut être considérée comme superficielle lorsque sa profondeur est inférieure à environ 500 mètres, à moyenne profondeur de 500 à 1500 mètres. Certains secteurs peuvent montrer une anomalie géothermique par rapport au gradient géothermique moyen voisin de 3°C par 100 m de profondeur. Chacune de ces trois situations est détaillée ci-après.

6.1. POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES AQUIFERES SUPERFICIELS

La ressource en eau géothermale peut être considérée comme superficielle lorsque sa profondeur est inférieure à environ 200 mètres. Le découpage des unités hydrogéologiques du département de l'Hérault montre une grande diversité de réservoirs, qui sont représentés essentiellement par :

- des alluvions connectées le plus souvent aux cours d'eau (Hérault, Orb, Lez, Libron, Vidourle) ;
- des dépôts villafranchiens apportés par des fleuves et rivières, comme cela est le cas en plaine littorale, entre le Lez et le Vidourle. L'aquifère n'est pratiquement pas en liaison avec les cours d'eau qui le traversent ;
- des sables tertiaires le plus souvent sous couverture avec en particulier la nappe astienne d'Agde Valras qui se développe sur le littoral, entre l'embouchure de l'Aude et Sète ;
- des formations calcaires du Crétacé inférieur, Jurassique supérieur, moyen et inférieur, du Dévonien et du Cambrien en Montagne Noire. Plusieurs de ces

aquifères calcaires sont déjà intensément exploités pour l'alimentation en eau potable des collectivités. Cependant, il existe encore des ressources mal connues et peu, ou même non encore exploitées.

Les autres formations sont généralement moins perméables et elles constituent des aquifères de moindre importance. Cependant, elles peuvent localement présenter un certain intérêt avec en particulier les niveaux molassiques, gréseux, voire calcaires dans le Miocène, le Crétacé supérieur, ou encore le Trias.

Les granites et gneiss qui affleurent dans la partie occidentale du département peuvent être aquifères, mais les débits obtenus ponctuellement restent limités. Les potentialités se rencontrent soit dans la frange altérée superficielle (arènes), soit dans la partie fissurée et fracturée plus profonde.

6.1.1. Cartographie des aquifères superficiels

Les données cartographiques des aquifères superficiels présentées (Illustration 18 à Illustration 23) sont issues des travaux BRGM portant sur la description des aquifères du département de l'Hérault et sur la synthèse hydrogéologique pour la région Languedoc-Roussillon et son actualisation en 2004. Ces données ont été actualisées et complétées spécifiquement dans le cadre de la présente étude, notamment les paramètres pris en compte pour l'évaluation du potentiel géothermique, sur la base des connaissances de terrain acquises par les hydrogéologues du Service géologique régional (SGR) Languedoc-Roussillon.

a) Niveaux de superposition des réservoirs superficiels

La complexité géologique du département de l'Hérault amène à différencier cinq niveaux de superposition de réservoirs distincts jusqu'à des profondeurs relativement faibles, généralement moins de 500 m, voire même 250 m. Un ensemble de 158 secteurs homogènes vis-à-vis des niveaux d'aquifères superficiels rencontrés (secteurs hydrogéologiques homogènes) est ainsi défini. Des réservoirs en eau souterraine ont donc pu être identifiés sur 2, 3 et même 4 niveaux superposés⁶ (Illustration 18).

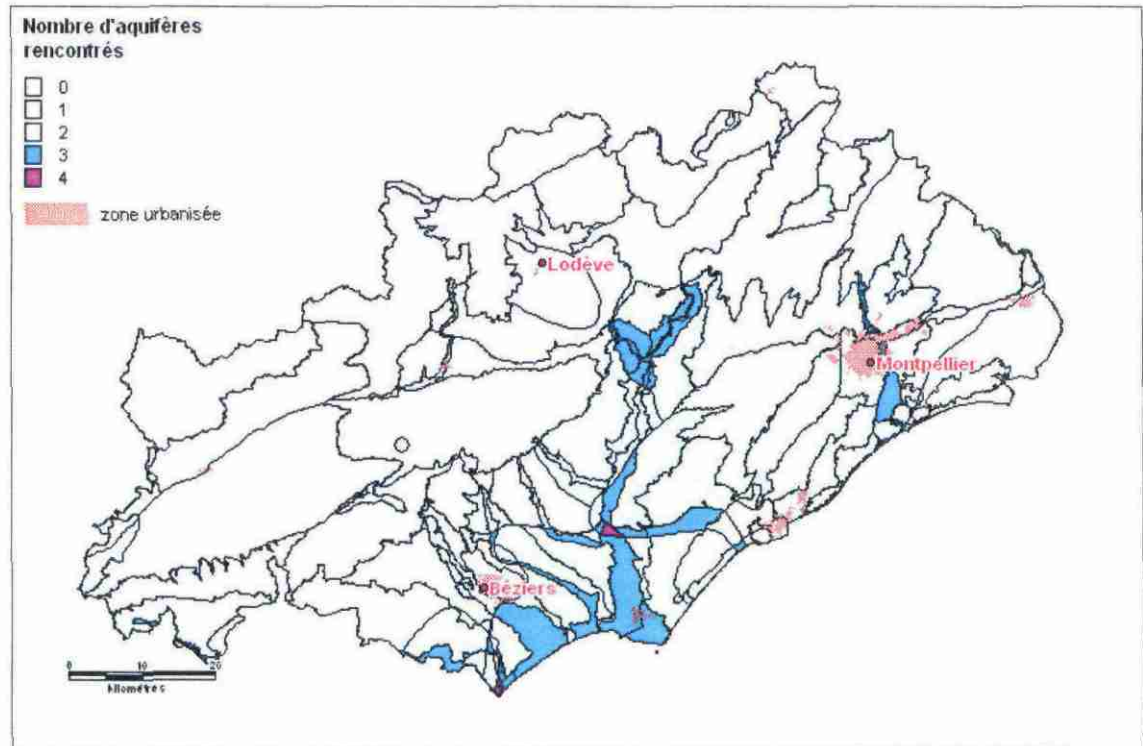


Illustration 18 – Nombre de niveaux d'aquifères superficiels

⁶ On définit cinq niveaux possibles d'aquifères. Cependant, la configuration où un aquifère est effectivement présent pour chacun de ces cinq niveaux possibles n'est jamais rencontrée, et seul un maximum de quatre aquifères superposés peut être observé.

b) Cartographie des niveaux d'aquifères superficiels

Les Illustration 19 à Illustration 23 montrent les cinq niveaux de réservoirs superficiels pouvant être rencontrés dans le département. Le niveau 1 regroupe les aquifères alluviaux. Les niveaux 2 à 5 représentent les aquifères hors-alluviaux qui peuvent se superposer jusqu'à la profondeur voisine de 500 mètres.

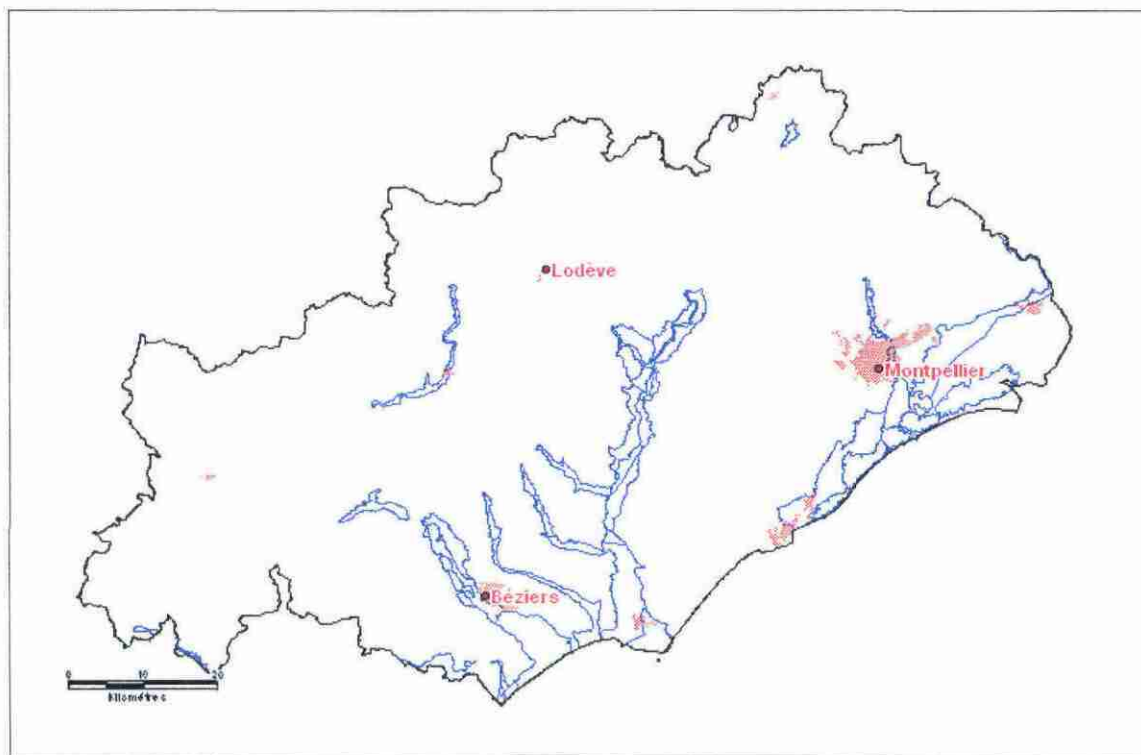


Illustration 19 – Niveau 1 des aquifères superficiels (aquifères alluviaux)

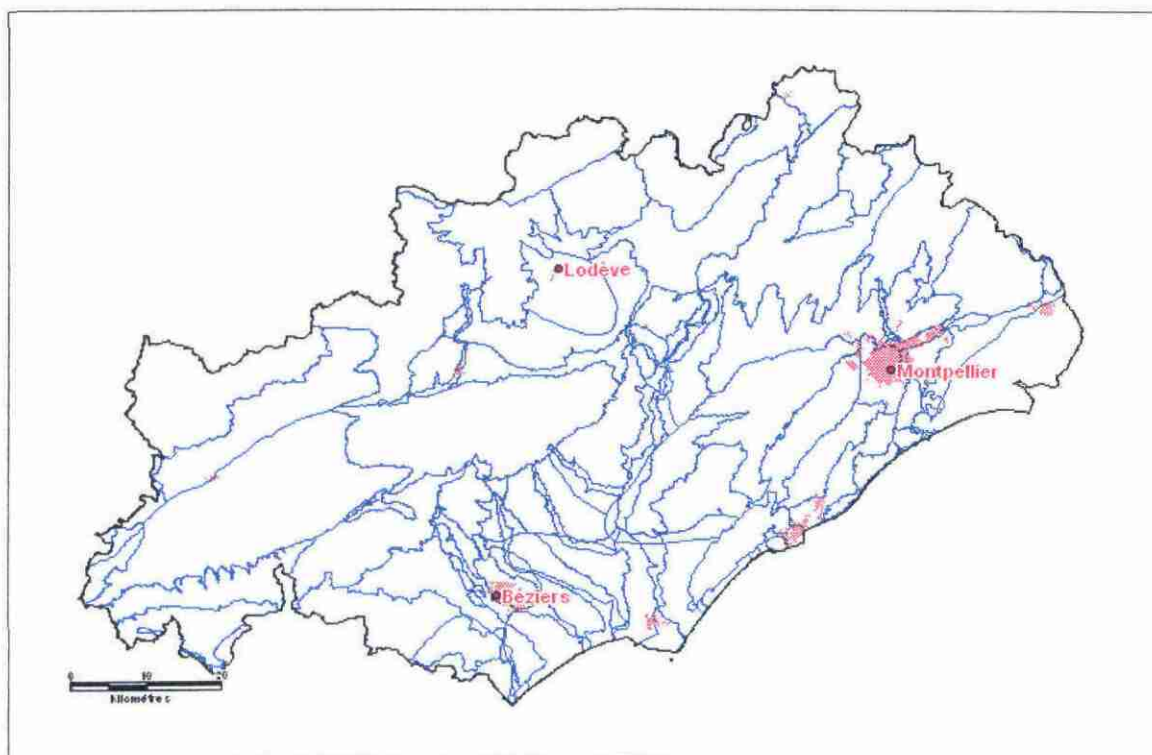


Illustration 20 – Niveau 2 des aquifères superficiels

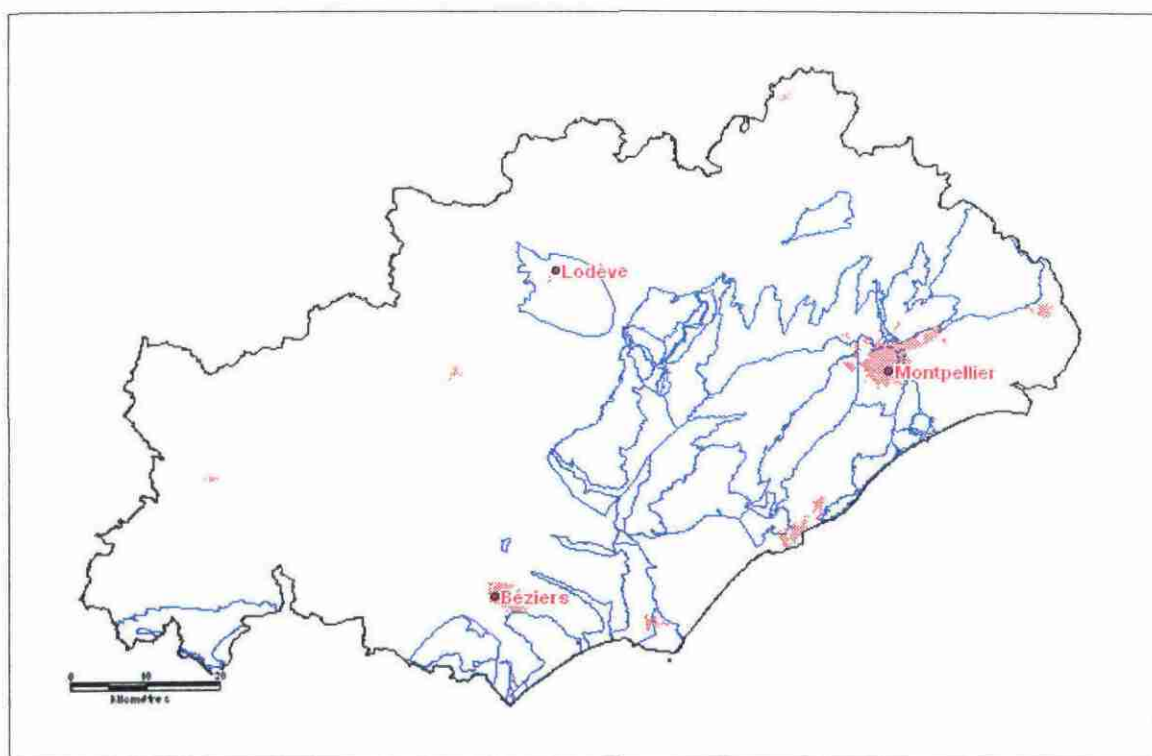


Illustration 21 – Niveau 3 des aquifères superficiels

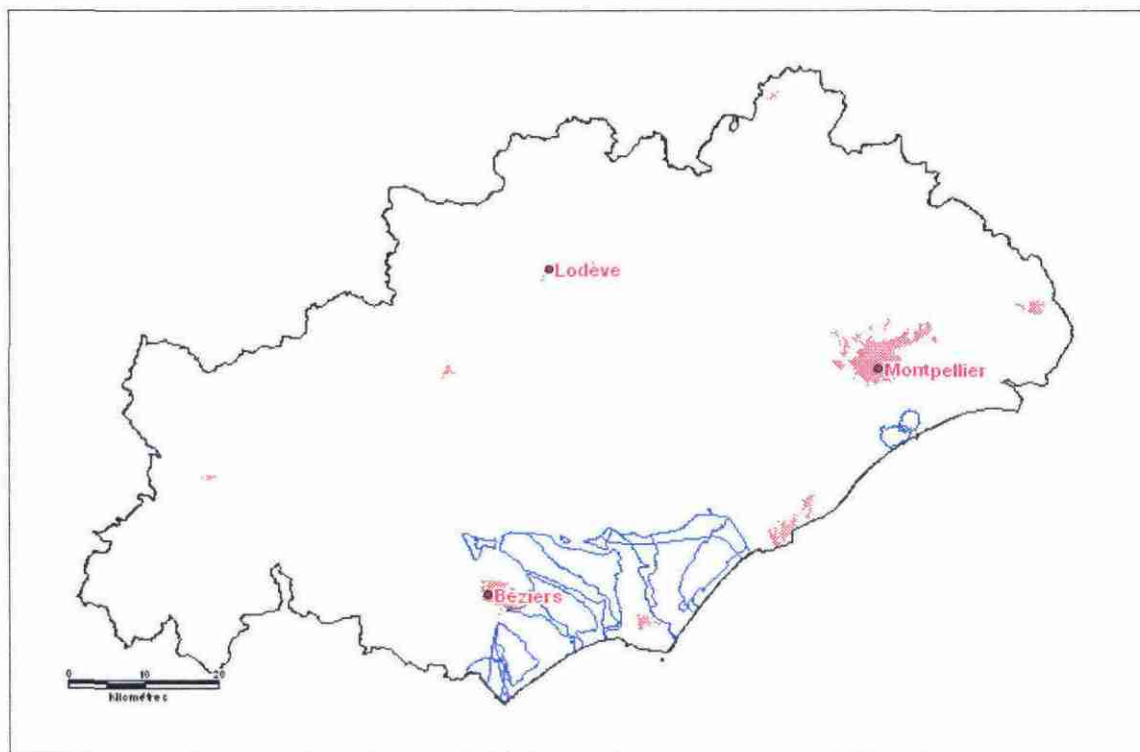


Illustration 22 – Niveau 4 des aquifères superficiels

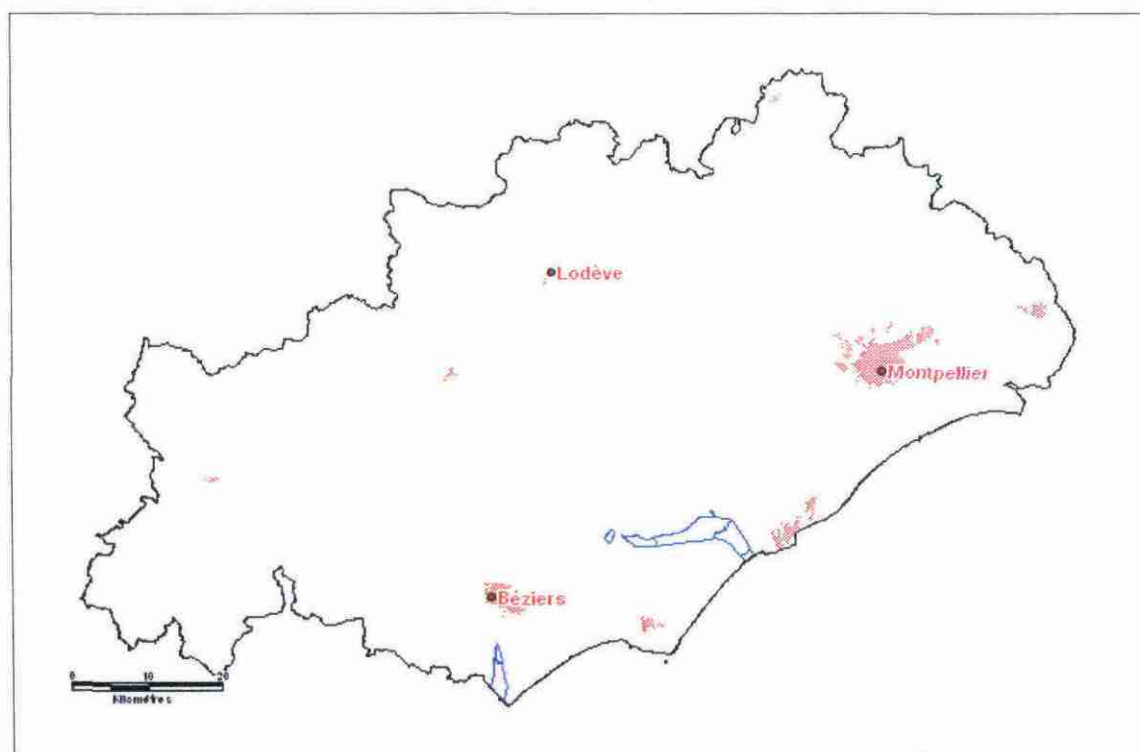


Illustration 23 – Niveau 5 des aquifères superficiels

c) Caractéristiques géothermiques

Pour tous les secteurs hydrogéologiques homogènes dénombrés (158 secteurs), et pour chacun des niveaux qui y sont reconnus, sont évaluées un certain nombre de caractéristiques à prendre en compte dans une évaluation d'un potentiel d'utilisation géothermiques des aquifères superficiels. Il s'agit des paramètres suivants :

- profondeur du réservoir ;
- épaisseur du réservoir ;
- débit potentiel moyen mobilisable ;
- transmissivité des terrains ;
- perméabilité des terrains ;
- sensibilité du réservoir à l'utilisation à des fins géothermiques ; cette sensibilité est définie en fonction de l'importance de la ressource disponible, de la liaison éventuelle plus ou moins directe du réservoir avec les eaux de surface (cours d'eau et étangs littoraux), du fait pour l'aquifère d'être exploité pour AEP ou de constituer un aquifère patrimonial sensible à la surexploitation pare exemple. La sensibilité du réservoir à l'utilisation à des fins géothermiques est basée sur l'impact du prélèvement d'eau sur la ressource. Il s'agit donc essentiellement d'un risque quantitatif, et ce risque peut être d'ailleurs atténué par la réinjection du débit pompé dans le niveau prélevé.

Les Illustration 24 et Illustration 25 montrent à titre d'exemple les caractéristiques des aquifères superficiels présents sous le bourg de Gignac.

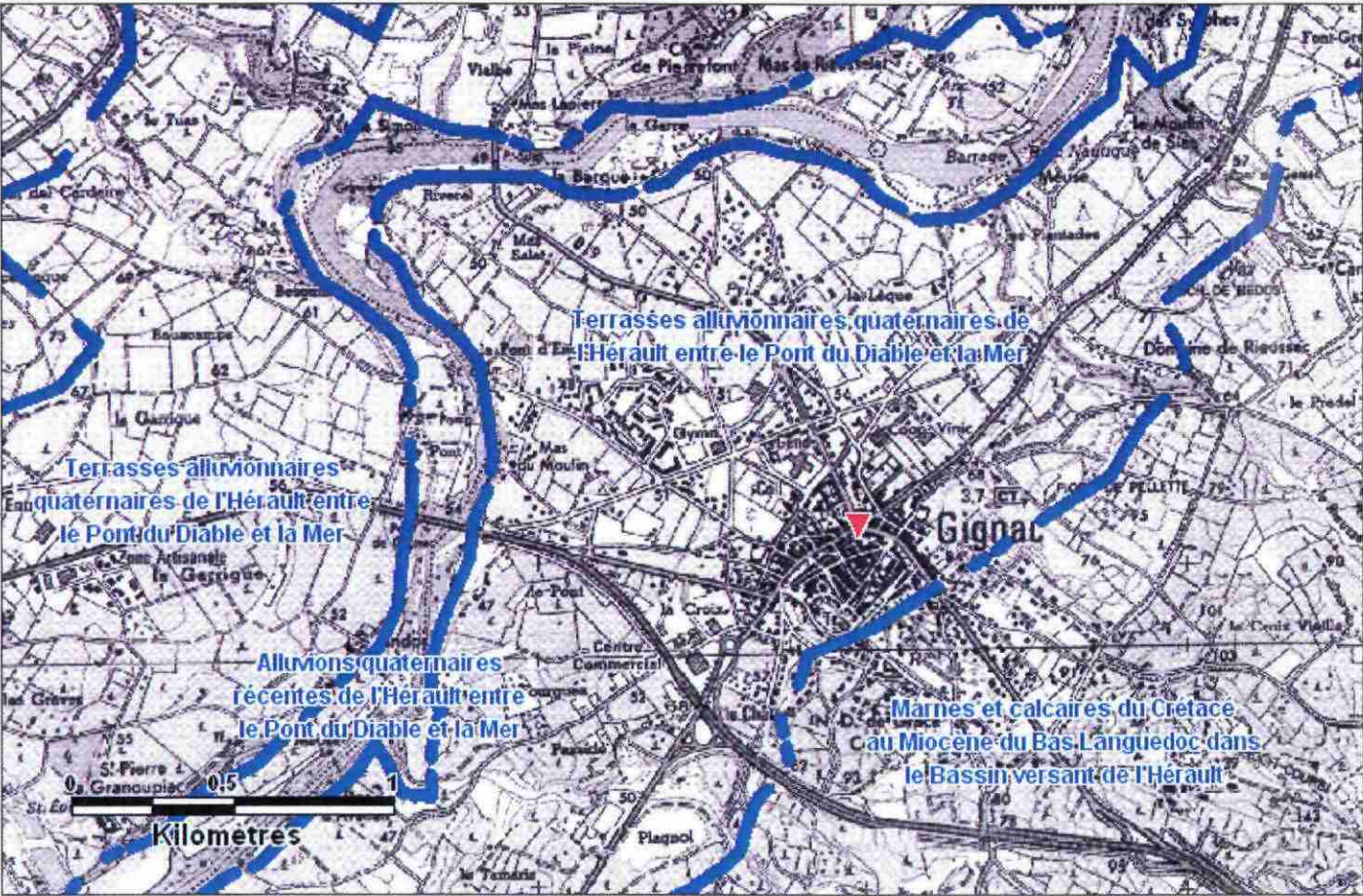


Illustration 24 – Secteur de Gignac

	Réservoir	Code du réservoir	Type d'aquifère	Profondeur	Epaisseur	Débit mobilisable	Transmissivité des terrains	Perméabilité des terrains	Sensibilité du réservoir à l'utilisation à des fins géothermiques.	Observations
Niv. 1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de l'Hérault entre le Pont du Diable et la Mer	334b1	libre	2 à 5 m / sol	2 à 10 m	1 à 5 m³/h	1.E-5 à 1.E-3 m²/s	1.E-6 à 1.E-2 m/s	très sensible	Liaison avec les eaux de surface, impact potentiel sur le débit du cours d'eau
Niv. 2	Marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le Bassin versant de l'Hérault	557c2	libre	30 à 150 m forage	> 200 m	0 à 10 m³/h	-	-	peu sensible	Ressource en eau limitée dans les formations très variées peu perméables
Niv. 3	Calcaires et marnes jurassiques	142	captif (142 indifférencié)	80 m à plus de 200 m	> 200 m	0 à 200 m³/h	-	-	peu à moyennement sensible	Aquifère important (ressource en eau importante). Ressource géothermique potentielle importante

Illustration 25 – Réservoirs rencontrés sous le bourg de Gignac

d) Hiérarchisation du potentiel géothermique des aquifères superficiels

Dans chaque secteur hydrogéologique homogène on dispose, pour chaque réservoir superficiel rencontré, d'un certain nombre de paramètres utiles à la caractérisation des propriétés de l'aquifère en vue de son utilisation à des fins géothermiques. Deux de ces paramètres interviennent au premier ordre dans l'évaluation du potentiel géothermique présenté par les réservoirs présents dans le secteur hydrogéologiquement homogène : le débit potentiel moyen mobilisable des réservoirs superficiels rencontrés (Illustration 27 et planche hors-texte en annexe 4), et la sensibilité des aquifères à une utilisation à des fins géothermiques (Illustration 28). L'évaluation du potentiel géothermique des aquifères superficiels est fournie par la lecture coordonnée de ces deux représentations.

e) Limites de l'analyse

- Conformément aux objectifs de l'étude, et d'une façon générale, l'évaluation du potentiel géothermique et les autres estimations conduites dans le cadre de la présente étude le sont à une échelle départementale, dans un détail cohérent avec l'échelle de 1/100 000. L'analyse réalisée est destinée à orienter les projets géothermiques sur leur faisabilité éventuelle. Elle ne se substitue pas à l'examen détaillé du potentiel géothermique des aquifères et au calcul de l'économie de leur exploitation qui doivent être conduits à l'échelle locale et du projet, particulièrement dans le contexte géologique complexe du département de l'Hérault.
- Comme pour tout objet géologique du sous-sol, la connaissance des aquifères est toujours imparfaite et reste dépendante des méthodologies utilisées pour l'approche de leur connaissance.
- Le débit moyen mobilisable pour chaque secteur hydrogéologique homogène est la somme du centre des fourchettes de débits min/max des réservoirs rencontrés dans le secteur. A cette approximation peut s'ajouter, du fait de conditions hydrogéologiques particulières, une variabilité de débit particulièrement élevée, constatée notamment dans les forages qui y ont été réalisés, pour certains secteurs signalés dans l'Illustration 27.
- La sensibilité à une utilisation géothermique est définie pour chaque aquifère superficiel rencontré dans chacun des secteurs hydrogéologiques homogènes. Une « pondération » raisonnée de ces sensibilités, prenant notamment en compte les débits mobilisables, fondée également sur la connaissance de terrain des conditions de l'hydrogéologie régionale, est ensuite effectuée afin de fournir une sensibilité par secteur hydrogéologique. Cette sensibilité à une utilisation géothermique des aquifères rencontrés est basée sur l'impact du prélèvement d'eau sur la ressource. Il s'agit donc essentiellement d'un risque quantitatif, et ce risque peut être d'ailleurs atténué par la réinjection du débit pompé dans le niveau prélevé.

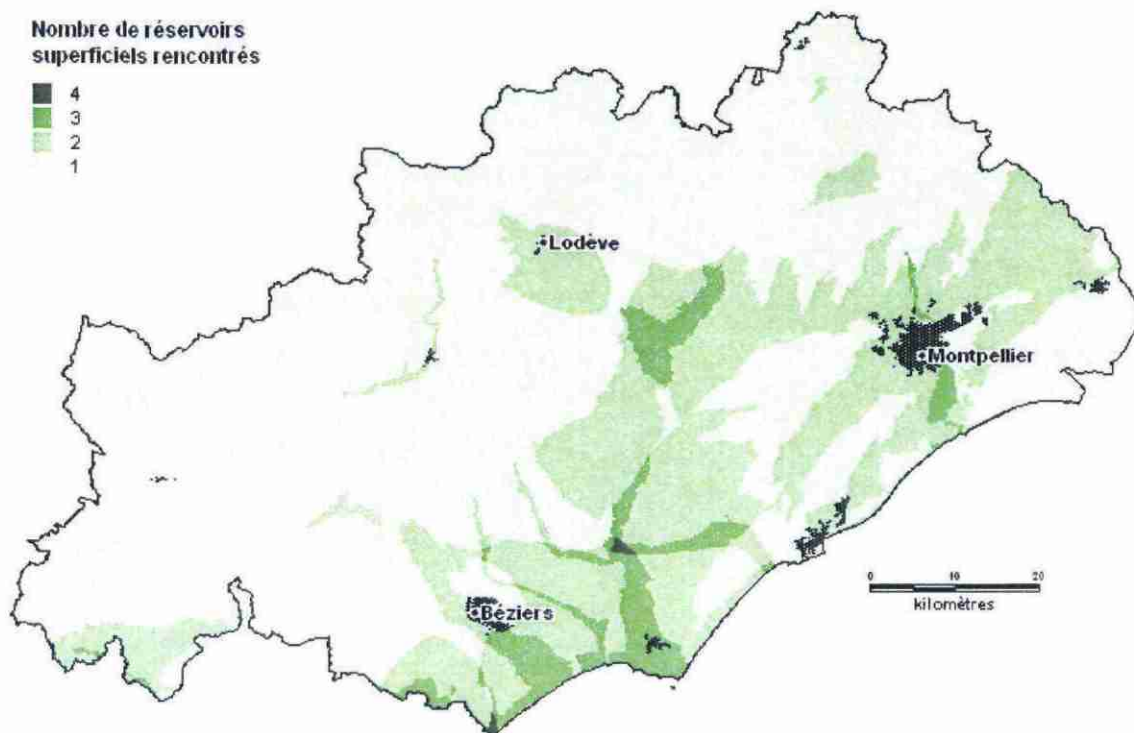


Illustration 26 – Nombre de réservoirs superficiels rencontrés

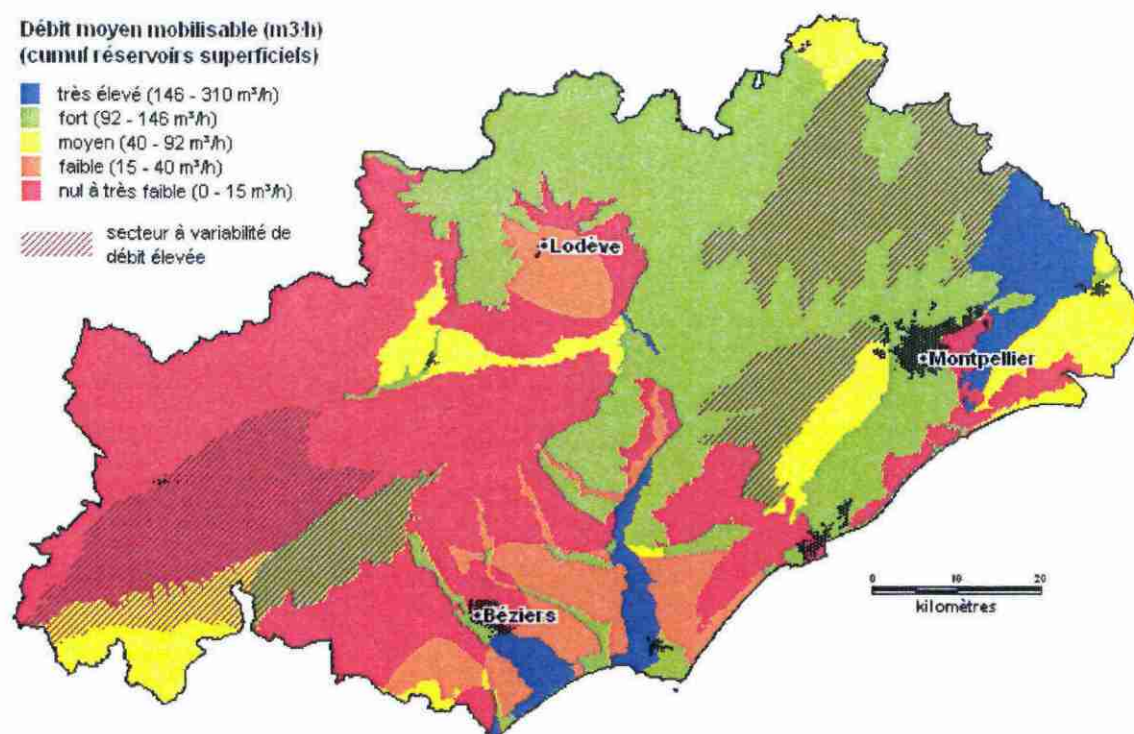


Illustration 27 – Débit potentiel moyen mobilisable - Cumul des réservoirs superficiels

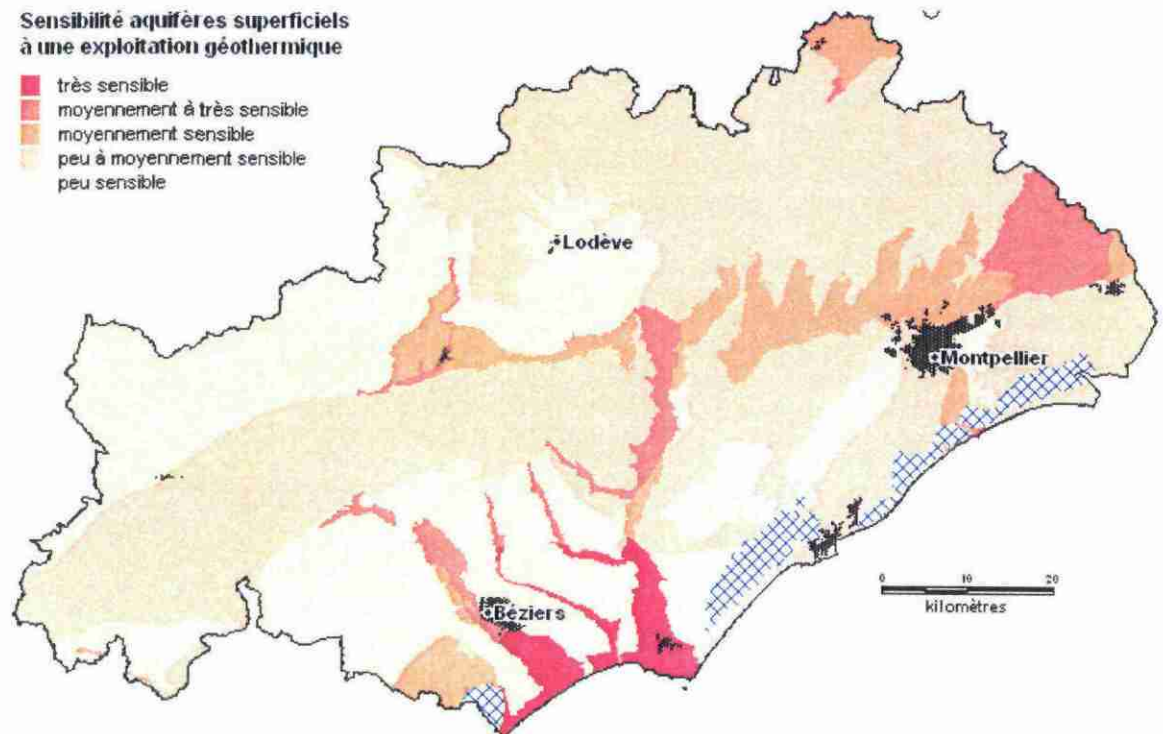


Illustration 28 – Sensibilité des aquifères superficiels à une utilisation géothermique

6.2. POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES RESSOURCES A MOYENNE PROFONDEUR

Hormis les réservoirs superficiels ou relativement superficiels traités dans le chapitre précédent, on a aussi cartographié le toit des différents réservoirs plus profonds, qui peuvent être utilisés pour l'exploitation de l'eau souterraine comme vecteur de calories. L'annexe 5 (planche hors-texte) fournit la position des formations qui peuvent se révéler aquifères en complément des réservoirs superficiels déjà identifiés. Cette cartographie des ressources en eau souterraine plus profonde (entre 250 m et plus de 1000 m) a été établie spécifiquement pour la présente étude par les hydrogéologues du SGR Montpellier sur la base de leur expérience de terrain et du contexte hydrogéologique régional. Ces connaissances sont complétées par les documents suivants :

- coupes géologiques des forages profonds réalisés sur le département de l'Hérault et notamment les sondages de recherche pétrolière et de recherche de gîte géothermique (Bagatelle et Antigone à Montpellier, Agde, la Castillonne à Montagnac, Pézenas) ;
- étude de synthèse du potentiel géothermique du littoral méditerranéen de Marseille à Perpignan. Etude réalisée en 1981-1982 par GEOTHERMA. Cette étude concerne uniquement la partie littorale ;
- cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et coupes associées ;
- études géophysiques pétrolières ;
- rapport BRGM RP-53733-FR de janvier 2005 et intitulé « Le bassin Oligo-miocène de l'Hérault : un exemple de rétrocharriage des structures pyrénéennes. Implications hydrogéologiques ».

La cartographie réalisée (Illustration 29 et planche hors-texte en annexe 5) indique la position du toit de l'éventuel aquifère sous-jacent aux réservoirs superficiels avec des courbes d'isoprofondeur égales à 250 m, 500 m et 1000 m. Lorsqu'il n'existe pas de réservoir connu et identifié en dessous des formations affleurantes, ce sont celles-ci qui ont été représentées. La profondeur à atteindre en forage dépend aussi de la profondeur par rapport au sol de la zone saturée, de la position des venues d'eau et de la productivité du réservoir rencontré.

Il s'agit d'une évaluation simplifiée en raison de la complexité géologique qui peut être observée sur toute la partie littorale et médiane du département de l'Hérault. Ces unités géologiques profondes restent encore le plus souvent mal connues, mais elles peuvent constituer des cibles majeures pour un projet d'exploitation de calories véhiculées par l'eau souterraine. C'est notamment le cas pour les calcaires jurassiques qui se révèlent un aquifère majeur dans la structure liée au pli de Montpellier et à son extension vers l'Ouest. Ainsi, les forages de la Castillonne à Montagnac et de Pézenas qui sont actuellement exploités peuvent fournir chacun plus de 200 m³/h avec une température de l'eau de 29°C sur le premier site et 37°C sur le second.

Les réservoirs dont le toit paraît se situer à plus de 500 m de profondeur correspondent essentiellement aux calcaires du Jurassique, du Lias ou du Dévonien et Cambrien. A 500 m de profondeur, la température de l'eau pouvant être rencontrée doit être comprise entre 25 et 30°C, hormis d'éventuelles anomalies géothermiques possibles.

Les schistes et micaschistes en Montagne Noire ont été classés sans ressources en eau, eu égard à leur très faible productivité et donc à l'absence d'intérêt de ces formations dans le cadre de l'exploitation de gîte géothermique à moyenne profondeur.

De la même façon que pour les réservoirs superficiels, lors de chaque projet d'exploitation de gîte géothermique avec un objectif de solliciter un aquifère non superficiel, une étude de faisabilité comprenant un volet relatif aux conditions géologiques et hydrogéologiques devra être engagée afin d'affiner les données synthétiques résumées sur les différentes cartographies présentées par l'étude.

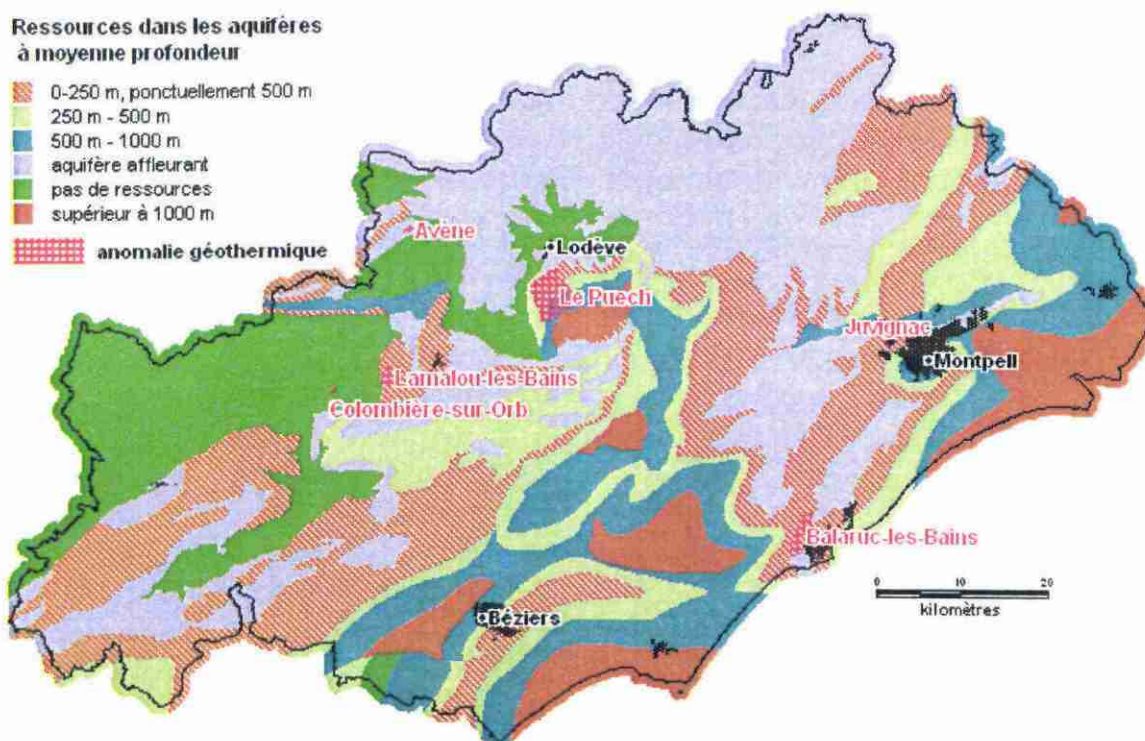


Illustration 29 – Ressources dans les aquifères à moyenne profondeur

6.3. ANOMALIES GEOTHERMIQUES

En règle générale, le gradient géothermique est voisin de 3°C par 100 m de profondeur. Cependant, en fonction des formations géologiques en place, ce gradient peut varier et il peut s'avérer plus important dans les argiles ou marnes, et plus faibles dans des calcaires notamment lorsqu'ils sont karstifiés avec des circulations de l'eau qui peuvent être ponctuellement très rapides. De plus, localement, en fonction de condi-

tions géologiques et structurales très spécifiques, ce gradient peut être nettement plus élevé. Cela est lié à la remontée d'eau vers la surface à la faveur d'accidents tectoniques.

Dans le département de l'Hérault, de telles conditions peuvent être rencontrées notamment dans le secteur des sources thermales : Balaruc-les-Bains, Lamalou-les-Bains, Avène ou encore le secteur de Fontcaude à Juvignac (Illustration 29). Des anomalies géothermiques avec une extension latérale plus marquée sont aussi connues, en particulier au Sud immédiat de la ville de Lodève, entre la Lergue et le village du Puech, ou même plus encore à l'Ouest. Le réservoir est représenté par les calcaires et dolomies du Cambrien pouvant se situer à moins de 200 m de profondeur, notamment entre l'agglomération du Puech et le site du Capitoul à proximité de la Lergue. Cet aquifère cambrien est affecté par un réseau très important de failles. En raison de la proximité du socle et de nombreux accidents tectoniques, d'importantes remontées de gaz carbonique d'origine profonde réchauffent localement ces eaux contenues dans les formations cambriennes. Cela induit une anomalie géothermique très marquée qui fait l'objet d'une exploitation par forages par la SARL les Serres du Lodévois dans le cadre du permis d'exploitation de gîte géothermique d'Olmet. Le forage exploité par les Serres du Lodévois (forage de Grand-Champ), localisé sur la commune du Puech, a une profondeur de l'ordre de 150 m et une température de l'eau de 53°. Quatre autres forages (BELET 2, 3, 4 et 5) situés au lieu-dit St-Fulcran, sur la commune de Lodève, sont également exploités pour le chauffage de serres pour une température de l'eau de 30° et un débit proche de 50 m³/h. Il y a encore un forage situé plus à l'Ouest mais qui n'est pas exploité (forage réalisé par M. BELLET), ainsi qu'un forage réalisé par le CG34 (forage du Moulin). Ce dernier forage, de reconnaissance, n'est pas non plus exploité. Dans le secteur de Sète, des manifestations d'eau à température supérieure à 25°C sont connues dans le quartier des Métairies, en bordure de l'Etang de Thau. Elles apparaissent dans un contexte géologique sensiblement identique à celui de Balaruc-les-Bains au Nord Est de l'Etang de Thau. Le réservoir est représenté par des calcaires jurassiques sous couverture.

6.4. PRESENTATION DE L'ATLAS GEOTHERMIQUE

Deux planches hors-texte en annexes 4 et 5 du rapport fournissent la cartographie à l'échelle du 1/100 000 des réservoirs superficiels et des réservoirs à moyenne profondeur dont les ressources peuvent être mobilisées pour des opérations de géothermie sur nappe.

Un atlas géothermique a également été élaboré sous forme d'un document HTML (Illustration 30). Il présente, à l'échelle de chaque commune du département, le potentiel géothermique rencontré des nappes superficielles et les ressources situées à moyenne profondeur.

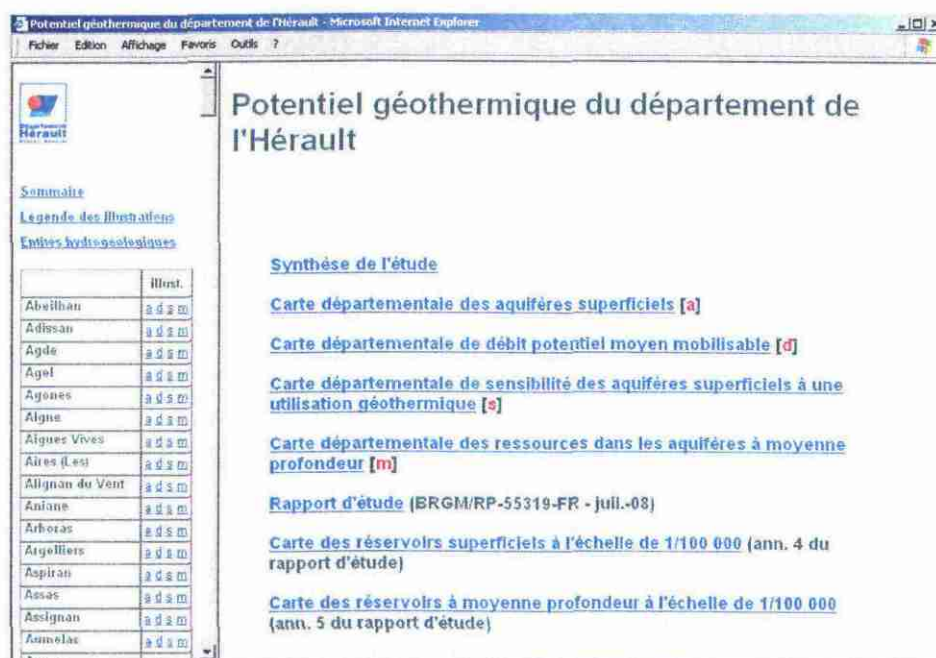


Illustration 30 – Ecran d'accueil du document HTML de l'atlas géothermique

7. Calcul économique

Le calcul économique réalisé vise à fournir des ordres de grandeurs et des références en termes de rentabilité de projets géothermie basse énergie sur nappe (via pompe à chaleur eau-eau) en comparant ces solutions techniques de chauffage et/ou refroidissement à celles utilisées classiquement (chaudière à gaz - éventuellement bois - et groupe froid). Les indicateurs économiques des solutions examinées (TRI, délais de retour, etc.) permettent au Maître d'ouvrage devant un choix énergétique de décider de la réalisation d'une opération de géothermie. Ces indicateurs fournissent également une information aux pouvoirs publics quant à la nécessité d'inciter financièrement la filière géothermique si l'on souhaite son développement.

L'objectif du calcul économique est également de mettre en évidence des caractéristiques géographiques et relatives aux usages qui sont déterminants dans l'intérêt de la géothermie par rapport aux installations classiques en chauffage. En d'autres termes, l'objectif est d'évaluer la rentabilité prévisionnelle d'un projet de géothermie, d'estimer les impacts des contextes géographiques et environnementaux sur la rentabilité du projet, et d'en définir les usages.

Le calcul économique a été spécifiquement développé dans le cadre de la présente étude. Il a été conduit par N. Graveline (BRGM - EAU/RMD) en collaboration avec J. Lemale, expert.

7.1. METHODOLOGIE DU CALCUL ECONOMIQUE

Un calcul économique de projet a été réalisé autour de trois cas-types pour comparer la rentabilité de ces trois types de projets de chauffage / refroidissement géothermie. Les différentes étapes ont été les suivantes :

- **Estimation de la demande en chaud / froid** : les caractéristiques des bâtiments transmis par le Conseil Général ont permis d'estimer la demande en chaud / froid i.e. les besoins en chauffage (puissance nécessaire et quantité d'énergie de chauffage) d'après les consommations passées (dans le cas de la maison de retraite et des collèges). La demande pour les bureaux a été caractérisée à partir de données de références par m² de bureau⁷ en considérant les conditions climatiques particulières de l'Hérault⁸.
- **Choix du taux de couverture de la puissance maximale nécessaire par la géothermie**. La pompe à chaleur peut fournir soit la totalité soit une partie seulement de la puissance maximale nécessaire pour le chauffage (et la production d'eau

⁷ ADEME, ARENE, BRGM (2008) - Pompe à chaleur géothermique sur aquifère Conception et mise en œuvre – Collection Guide Technique.

⁸ Par rapport à la moyenne française, on considère la fourchette basse pour les besoins en chaud, et la fourchette haute pour les besoins en froid.

chaude sanitaire). Il peut être plus intéressant de dimensionner la pompe à chaleur pour une partie seulement de la puissance maximale (50% par exemple)⁹ tout en couvrant un maximum des besoins (plus de 80%) afin de limiter les investissements (Illustration 31). Cependant si la géothermie est dimensionnée sur les besoins de froid elle doit couvrir l'ensemble des besoins. Selon les cas, si la géothermie est utilisée pour produire du chaud et du froid ; ce sont les besoins en chaud ou en froid qui seront « dimensionnant », c'est à dire qui détermineront le débit nécessaire que devra satisfaire la ressource. La production d'eau chaude sanitaire (ECS) est fournie par la géothermie¹⁰.

- On suppose ici que le débit disponible n'est pas limitant (on se place dans un cas où le débit nécessaire est disponible). Dans tous les cas, la solution géothermique est ainsi à même de couvrir 100% des besoins en chaud et en froid.

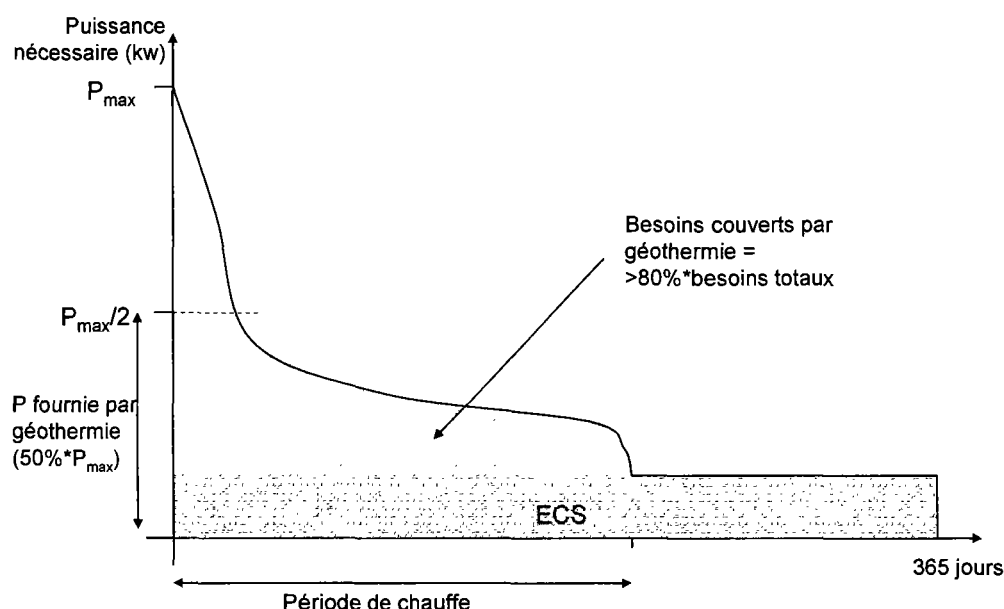


Illustration 31 – Schéma de principe d'une courbe monotone : choix du taux de couverture par la géothermie - Puissance et besoin en chaud

⁹ Dans le cas notamment où il faut faire un forage supplémentaire pour assurer 100 % de la puissance « chaud ».

¹⁰ Les contraintes sanitaires d'élévation périodique de la température de l'ECS afin de limiter la prolifération de bactéries (augmentation par 24 h de la température à 65°C) ne sont pas prises en compte dans l'étude.

7.1.1. Débit nécessaire pour une production de chaleur

Le débit nécessaire est calculé à partir de la puissance fournie par la géothermie d'après la formule suivante pour la production de chaleur :

$$Q_{hiver} = \frac{P_{ch} \times (1 - \frac{1}{COP})}{1,16 * \Delta T}$$

Avec :

- Q_{hiver} le débit nécessaire en m³/h
- P_{ch} la puissance nécessaire en kW (kilo watts)
- COP : le coefficient de performance machine (fixé à 4, mais le COP global annuel utilisé dans les calculs est de 3,7)
- ΔT : l'écart de température prélèvement / rejet en °C (fixé à 7 °C)
- 1,16 : capacité calorifique volumique de l'eau en kWh /m³/°C

7.1.2. Débit nécessaire pour une production de froid

Deux solutions sont théoriquement possibles pour satisfaire les besoins de froid : le « free-cooling » par échange direct, et l'utilisation de la réversibilité de la pompe à chaleur par ventilo-convecteur pour la production de froid.

a) Free-cooling

Le free-cooling est un rafraichissement direct de l'eau du circuit par l'eau de nappe par la seule utilisation des échangeurs, sans mise en service de la pompe à chaleur. Ce système est envisageable uniquement si le système d'émission se fait par le sol. Il faut noter aussi que la puissance maximum d'absorption de froid par un plancher est limitée à 35 – 40 W/m². Le débit nécessaire par cette technique est donnée par :

$$Q_{été} = \frac{P_{Fr}}{1,16 * \Delta T}$$

Dans ce cas l'écart de température ΔT entre prélèvement et rejet ne peut dépasser les 3 °C à 4°C pour éviter la condensation ($\Delta T = 3$ °C).

b) Emission de froid par ventilo-convecteur en utilisant la réversibilité de la PAC

Dans ce cas, et en présence d'un système de ventilos convecteurs la température de l'eau circulant dans l'émetteur peut être abaissée et délivrer une puissance frigorifique supérieure pouvant satisfaire les besoins. La formule du débit est alors la suivante :

$$Q_{été} = \frac{P_{Fr} * (1 + 1/C_{Fr})}{1,16 * \Delta T}$$

Dans ce cas on a un ΔT de l'ordre de 11 °C, ce qui permet pour des besoins donné de pomper un débit bien inférieur à celui du free-cooling.

C'est cette deuxième solution qui est retenue ici, car on s'intéresse à des cas avec des besoins en froid relativement importants pour lesquels le débit nécessaire en free-cooling serait prohibitif.

Le chaud récupéré lors de la production de froid permet éventuellement de produire l'eau chaude sanitaire en été lorsque la pompe à chaleur marche en production de froid.

Cette étape permet de déterminer le débit minimum nécessaire à la réalisation d'un projet géothermie dans les meilleures conditions économiques. Cette notion de « débit minimum acceptable » est notamment utilisée pour la garantie Aquapac.

7.1.3. Coûts d'investissement et de fonctionnement

Les coûts d'investissement et de fonctionnement de la situation de référence (classique) et de la solution géothermie sont calculés sur la base de puissances et consommations identiques pour chacun des cas-types et des deux hypothèses (soit six configurations au total). L'ensemble des coûts sont calculés hors TVA.

- Les coûts d'investissement correspondant à l'ensemble des travaux, installations et matériels à acquérir et installer au début du projet. Pour la géothermie il s'agit principalement du coût des forages (selon les caractéristiques de l'aquifère et les besoins, mais il faut au moins un forage de production et un autre forage de réinjection), de l'équipement du forage et de la pompe à chaleur. Il faut, selon la puissance thermique disponible de la ressource géothermale, et en fonction des résultats de l'étude économique, prévoir une chaudière d'appoint (voie de secours).
- Les coûts de fonctionnement correspondent principalement aux consommations énergétiques. Pour la géothermie, il s'agit de consommations (i) liées au pompage (pompage dans l'aquifère, qui dépend du débit et de la profondeur de l'eau, et pompe de circulation), (ii) au compresseur de la pompe à chaleur et éventuellement de la chaudière d'appoint. La consommation dépendra à la fois des besoins, des rendements globaux des installations mais aussi des facteurs locaux (profondeur de la nappe).

7.1.4. Indicateurs économiques et financiers

Les indicateurs économiques et financiers suivants sont calculés pour chaque cas type étudiés. Ces indicateurs permettent de comparer la solution géothermique avec son alternative classique sur la base d'arguments financiers :

- Coût de revient au kWh produit (hors et avec investissement) ;
- Taux de rentabilité interne (TRI) : c'est le taux d'actualisation qui annule la valeur actuelle nette d'une chronique de flux financiers (en général un investissement initial suivi de cash-flows positifs).
- Temps de retour sur investissement : c'est le nombre d'année qu'il faut pour que la somme des flux annuels (actualisés) sur ces années compense l'investissement initial.
- Valeur Actuelle Nette (VAN) : c'est la somme des flux financiers annuels (coûts et recettes) actualisés sur une période donnée (ici la VAN est calculée pour 30 ans). Le taux d'actualisation retenu est de 4%.

Ces indicateurs économiques et financiers sont calculés avec, et sans aides financières. Les aides financières considérées sont :

- une subvention à hauteur de 50% portant sur le montant des études ;
- une subvention à l'investissement de 75€ / MWh géothermique prélevé/an. Les aides sont rapportées au MWh géothermal/an produit, sortie évaporateur de la pompe à chaleur. Ces aides sont plafonnées à 30% de l'investissement géothermie. La mise en place de ces aides est prévue.

Dans le cas où la production de froid est indispensable (cas des maisons de retraite par exemple), celle-ci pourra être prise en compte par une aide au MWh froid/an d'un même montant que l'aide accordée au MWh géothermal/an, si la production de froid est produite par échange direct (free-cooling) (ce qui n'est pas la solution retenue dans l'étude).

D'autres indicateurs représentant l'économie énergétique réalisée avec la géothermie sont également calculés. Ils sont les suivants :

- Economie en énergie primaire (EP) en kWh/an¹¹ ;
- Tonnes équivalent CO₂ économisées ;
- Deux ratios coût-efficacité : i) Investissement¹² (€) par kWh EP économisé ; ii) Investissement¹³ (€) par tonne équivalent CO₂ (T_{eq} CO₂) économisée.

7.2. LIMITATIONS DU CALCUL ECONOMIQUE

Le calcul économique développé dans le cadre de l'étude ont pour objectif de représenter des ordres de grandeur et ne doivent pas être considérés comme extrapolables à des cas particuliers. Chaque projet géothermie doit faire l'objet d'une étude de faisabilité propre qui dépendra aussi bien des caractéristiques locales de la ressource que des caractéristiques de la demande en chauffage et en refroidissement.

7.3. HYPOTHESES DE CALCUL

7.3.1. Caractéristiques des trois cas-types étudiés

En accord avec le Maître d'ouvrage, les trois cas-types étudiés sont les suivants (Illustration 32) :

- une maison de retraite de 60 lits. Ce cas-type est dimensionné sur le modèle d'une maison de retraite construite en 2006 à Cazouls-lès-Béziers. Deux alternatives pour une solution classiques sont envisagés dans ce cas type de maison de retraite : Réf. 1 (chaudière gaz et groupe froid), et Réf. 2 (chaudière à bois -gaz pour appoint-, ECS par solaire et puits canadien pour production de froid).
- un collège de 460 élèves. Ce cas est dimensionné à partir du collège Pierre Mendès France de Jacou qui semble représentatif des collèges du département en termes de surface et d'effectifs.
- un ensemble de bureaux de 10 000 m², destiné à simuler une zone d'activité industrielle et de services.

La synthèse des principales caractéristiques des trois cas-types de configuration étudiés est fournie dans l'Illustration 32.

¹¹ En prenant un coefficient de 1 pour les kWh gaz, 0.8 pour le bois, et 2.58 pour l'électricité.

¹² Au-delà de la solution de référence, en d'autre termes : surplus d'investissement de la solution géothermie par rapport à la solution de chauffage classique.

¹³ Au-delà de la solution de référence, en d'autre termes : surplus d'investissement de la solution géothermie par rapport à la solution de chauffage classique.

	Maison de retraite	Collège	Bureaux
Occupation/surface	60 lits - 3 600 m ²	460 élèves - 6 000 m ²	500 personnes - 10 000 m ²
Situation de référence (Solution « classique »)	Réf. 1 : chaudière gaz et groupe froid Réf. 2 : chaudière à bois (gaz pour appoint), ECS par solaire et puits canadien pour production de froid	Chaudière gaz (pas de climatisation)	Chaudière gaz et groupe froid
Solution géothermie (comparée à la situation de référence)	100% de la puissance et des besoins couverts avec la géothermie L'ECS est produite par la géothermie (en été par récupération sur la production de froid)		
	Par mesure de sécurité ¹⁴ on prévoit une chaudière fioul d'appoint ¹⁵	Pas de chaudière d'appoint	
Puissance nécessaire			
- en chaud en KW (ECS ¹⁶)	170 (30)	245 (8)	450 (8)
- en froid en KW	260		800
Besoins			
- en chaud en MWh (ECS)	336 (130)	270 (24)	665 (25)
- en froid en MWh	88	0	240

Illustration 32 – Principales caractéristiques des cas étudiés

7.3.2. Hypothèses de calcul sur les besoins énergétiques

Pour les solutions de chauffage et refroidissement géothermie il y a deux principaux types de postes de consommation (i) le pompage de l'eau depuis l'aquifère dans le réseau et (ii) la compression de la pompe à chaleur.

¹⁴ Dans le cas où il y aurait un problème sur les forages (pompe, ensablement par exemple).

¹⁵ Le choix du fioul permet de ne pas prendre d'abonnement à un fournisseur (Gaz de France) pour une chaudière qui, en principe, ne fonctionnerait pas ou très peu.

¹⁶ Avec un stockage d'ECS on suppose que la puissance nécessaire pour la production d'ECS est la puissance double de la puissance moyenne nécessaire.

a) Consommation d'énergie liée au pompage de l'eau dans l'aquifère

La puissance nécessaire (Watt) à fournir pour pomper l'eau hors du forage est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{à fournir au fluide}} = 9,81 * Q * h * \rho$$

Avec 9,81 m/s² : accélération moyenne de la pesanteur, Q le débit pompé (en m³/s), h la hauteur en mètres et ρ la masse volumique de l'eau en kg/m³ (1000 kg/m³).

En prenant en compte le rendement de la pompe, on obtient pour la puissance de la pompe :

$$P_{\text{pompe}} = 9,81 * Q * h * \rho * \eta_{\text{pompe}}$$

Avec η_{pompe} le rendement de la pompe.

Pour obtenir la consommation d'énergie nécessaire pour le pompage, on multiplie par le nombre d'heures de fonctionnement (que l'on estime selon les caractéristiques locales de températures et selon les caractéristiques des établissements). On somme ensuite pompage en hiver (production de chaud) et pompage d'été (production de froid) le cas échéant.

b) Consommation d'énergie liée à la compression de la PAC

La formule suivante donne la consommation d'énergie électrique ($E_{\text{consommée PAC}}$) par la PAC pour une production d'énergie donnée en fonction de l'énergie requise en chaud et en froid ($E_{\text{nec_chaud}}$ et $E_{\text{nec_froid}}$).

$$E_{\text{consommée PAC}} = \frac{E_{\text{nec_chaud}}}{COP} + \frac{E_{\text{nec_froid}}}{CFR}$$

Avec COP le coefficient de performance de la PAC et CFR le coefficient de refroidissement de la PAC.

On suppose que les émetteurs de chaud sont des émetteurs basse température tels que des planchers chauffant, ce qui permet une température de base de distribution de 40°C environ en adéquation avec la PAC. De manière générale la géothermie n'est d'ailleurs réellement intéressante que dans ce cas.

On suppose par ailleurs que la réinjection se fait sans besoin d'énergie.

7.3.3. Hypothèses relatives aux investissements (forage et PAC)

a) Forage

Pour le calcul nous fixons le coût de l'investissement du forage à 80 000 € pour un doublet (un puits de pompage et un autre d'injection). L'équipement du forage (pompe,

échangeur) et les réseaux primaires (les canalisations qui doivent être installées pour amener l'eau à la PAC) sont estimés à 60 000 €. De nombreux paramètres interviennent cependant dans le coût d'investissement d'un forage :

- coûts fixes (amenée-repli, etc.) qui peuvent dépendre de l'environnement du site de forage, de la profondeur à atteindre, de l'équipement à mettre en place ;
- nature de l'aquifère (crépines, stimulation, profondeur...) ;
- le choix des techniques de forage (machines différentes selon la nature géologique des formations traversées...).

Il est délicat d'estimer le coût d'un forage et de son équipement en dehors d'un projet concret donné et celui-ci peut largement varier d'un site et projet à l'autre. Des ordres de grandeurs ont été cependant repris à partir de l'expertise régionale.

b) Pompe à chaleur

Le montant de ce poste est très variable en fonction de la puissance et du type de machine. Ici on prendra le coût unitaire d'investissement égal à 200 €/kW pour une PAC de COP égal à 3,7.

Le coût de la PAC est entendu avec canalisation, électricité et pompes de circulations. On ne prend pas en compte un éventuel traitement de l'eau. Ceci est à considérer dans certains cas où l'eau est fortement minéralisée (déferritisation à prévoir par exemple).

7.3.4. Paramètres utilisés dans les calculs économiques

Les illustrations suivantes (Illustration 33, Illustration 34) fournissent les données techniques (de fonctionnement, géographiques, de caractérisation des besoins), les paramètres économiques et financiers du calcul économique (Illustration 35) et ceux d'estimation des impacts environnementaux (Illustration 36).

Paramètres géographiques locaux		
Profondeur de l'eau	60	m
Paramètres intervenant dans la caractérisation des besoins		
Puissance couverte par la géothermie	100%	
Puissance nécessaire pour chauffe eau / personne (mdr)	0,5	kW/personne mdr
Puissance nécessaire pour collège	0,03	kW/m3
Besoin en ECS habitation / maison de retraite	100	kWh/m3 eau chaude
<i>Relatifs à la maison de retraite</i>		
surface maison de retraite	3670	m2
effectif maison de retraite	60	lits
Température intérieure maison de retraite	20	°C
Température apport	2	C°
Température mini extérieure	-4	C°
Besoin en ECS en m3 maison de retraite / effectif/ an	22	m3/pers/an
Besoin en rafraichissement pour maison de retraite par m2	24	kWh/m2
G maison de retraite (déperdition)	0,70	W/m3/C°
Puissance installée nécessaire froid pour MdR	70	W/m3
<i>relatifs au collège</i>		
surface collège	6033	m2
effectif collège	460	élèves
Température intérieure collège	18	°C
besoin en ECS collège m3 / élève / an	0,52	m3/eleve/an
G collège	0,75	W/m3/C°
Puissance installée chaud pour collège	245	kW
<i>relatifs aux bureaux</i>		
Surface bureaux	10000	m2
effectif bureaux	500	
Température intérieure bureaux	19	°C
Température apport bureaux	3	C°
besoin en chauffage pour bureau par m2	66	kWh/m2
besoin en rafraichissement pour bureau par m2	24	kWh/m2
besoin en ECS bureau m3 / effectif	0,50	m3/effectif
G bureau	0,90	
Puissance installée nécessaire froid pour bureaux	80	W/m2

Illustration 33 – Données techniques du calcul économique

Caractéristiques de la PAC et des chaudières	
COP	3,7
CFR coef de réfrigération	3
delta T (entre T prélevée et rejetée)	7
delta T froid (pour free cooling)	3
delta T froid (ventilo convecteur)	11
rendement global chaudière classique	0,85
rendement global climatisation classique	1,97
rendement de la pompe forage	0,6
rendement chaudière bois	0,7

Illustration 34 – Caractéristiques de fonctionnement de la PAC et des chaudières

Paramètres intervenant dans le calcul économique		
taux d'amortissement	3%	
durée d'amortissement des forages et équipements lourds	30	ans
durée d'amortissement des PAC/chaudières / groupe froid	20	ans
Abonnement électricité	40	€/kW
Prix de l'électricité	0,063	€/kWh
Abonnement gaz	187	€ HT
Prix du kwh gaz (PCS converti a partir de PCS/PCI=1,1)	0,044	€ HT/kWh
Prix bois / kwh	0,03	€ HT/kWh
<i>Coûts investissements</i>		
Coût investissement PAC	200	€/kW
Chaudière bois MdR (base 220 kw)	545	€/kW
Panneaux solaires pour chauffe eau MdR	500	€/kW
Puit canadien MdR	60 000	€
Chaudière classique	140	€/kW
Groupe froid (maison de retraite)	150	€/kW
Groupe froid pour bureaux	100	€/kW
Maintenance forage	3 000	€/an
Maintenance chaudière (mdr)	1 000	€/an

Illustration 35 – Paramètres économiques et financiers du calcul économique

Indices environnementaux		
CO2 emis /kwh pour gaz naturel	205	g/kWh énergie finale
CO2 emis /kwh par climatisation -electricité	40	g/kWh énergie finale
rejets fluides groupe froid	0,0044	Teq/kW P fourni groupe froid
rejets fluides compresseur	0,0156	Teq/kW P fourni PAC

Illustration 36 – Paramètres pour l'estimation des impacts environnementaux

7.4. RESULTATS DES CALCULS

a) Résultats économiques et financiers

Les résultats économiques et financiers des calculs sont présentés. Pour les trois cas type examinés (Maison de retraite 60 lits, Collège 460 élèves, Bureaux 10 000 m²), le coût de revient est moindre avec la solution géothermie. Ce résultat illustre l'avantage de la géothermie d'un point de vue des coûts de fonctionnement uniquement.

€/ kWh	Maison de retraite 60 lits		Collège 460 élèves	Bureaux 10 000 m ²
	Réf. 1	Réf. 2		
Situation de référence : solution classique	0,079	0,052	0,058	0,098
Géothermie	0,041		0,055	0,048

Illustration 37 – Coût de revient Géothermie vs. Solution classique, en € par kWh

€/ m ² de surface bâtie	Maison de retraite 60 lits		Collège 460 élèves	Bureaux 10 000 m ²
	Réf. 1	Réf. 2		
Situation de référence : solution classique	11,9	6,6	2,9	9,1
Géothermie	6,2		2,7	4,4

Illustration 38 – Coût de revient Géothermie vs. Solution classique, en € par m² de surface bâtie

Débit requis en m ³ /h	Maison de retraite 60 lits	Collège 460 élèves	Bureaux 10 000 m ²
Débit maximum nécessaire en production de chaud	18 m ³ /h	23 m ³ /h	41 m ³ /h
Débit maximum nécessaire en production de froid	27 m ³ /h	-	83 m ³ /h

Illustration 39 – Débit de pompage requis de l'aquifère

Résultats financiers	Maison de retraite 60 lits			Collège 460 élèves		Bureaux 10 000 m ²	
	Réf. 1		Réf. 2				
Aide financière	Non	Oui	Non ¹⁷	Non	Oui	Non	Oui
Taux de rentabilité interne (TRI)	12%	15%	-	-	-	27%	37%
Temps de retour sur investissement	9 ans	7 ans	-	-	-	4 ans	3 ans
Valeur Actuelle Nette (VAN), en k€	254	287	-8	-150	-127	• 765	810

Illustration 40 – Résultats économiques et financiers de la solution Géothermie

Les trois indicateurs économiques présentés par l'illustration 40 (TRI, Temps de retour et VAN) intègrent à la fois le fonctionnement et l'investissement des installations.

Ces indicateurs se révèlent moins favorables à la géothermie que le serait le coût de revient (Illustration 37). Les solutions géothermiques se caractérisent en effet par des investissements nettement plus importants que les solutions classiques. Cependant le Taux de Rentabilité Interne (TRI) et la VAN sont favorables pour le projet de Maison de retraite Réf. 1 (comparé à une solution Gaz+ Groupe froid), et pour le projet de bureaux. Il ne l'est pas pour le projet de collège, ni pour le projet de maison de retraite Réf. 2 (comparé à une solution bois + solaire).

Les aides intégrées par le calcul économique réalisé dans le cadre de cette étude permettent d'avancer de une à deux années le temps de retour sur investissement des projets les plus intéressants.

¹⁷ On ne considère pas d'aide financière dans le cas de la Maison de retraite, Réf. 2, puisque la solution bois / solaire bénéficie aussi de certaines aides.

b) Economie de consommation et ratios Coûts/Efficacité

Une analyse de l'économie de consommation et des ratios Coûts/Efficacité de la solution Géothermie en comparaison de la solution classique de référence a été conduite. Comme le montre l'illustration 41, dans tous les cas la géothermie permet de faire des économies en termes d'énergie primaire dépensée et également en termes de dioxyde de carbone (CO₂) émis. De ce point de vue les solutions géothermiques semblent être intéressantes d'un point de vue environnemental.

Source d'énergie	Maison de retraite 60 lits		Collège 460 élèves	Bureaux 10 000 m ²
	Réf. 1	Réf. 2		
Gaz économisé (MWh)	547	180	346	811
Electricité économisée ¹⁸ (MWh)	-117	-162	-85	-160
Bois économisé (MWh)	-	336	-	-
Total équivalent Energie Primaire (MWh)	245	30,2	126	399
CO ₂ économisé (Teq CO ₂)	106	27	64	156

Illustration 41 – Economie de consommation

L'illustration 42 propose une lecture différente des résultats du calcul économique : les ratios correspondent à l'investissement (surplus par rapport à la situation de référence) nécessaire pour une économie d'une unité de kWh ou de tonnes équivalent CO₂. Ils pourraient être particulièrement intéressants dans le cadre de l'établissement d'une politique d'économie d'énergie et de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre car ils permettraient de comparer plusieurs énergies renouvelables entre elles (sur la base de critère coût –efficacité).

Indicateurs d'efficacité environnementale de l'investissement	Maison de retraite 60 lits		Collège 460 élèves	Bureaux 10 000 m ²
	Réf. 1	Réf. 2		
Coût ¹⁹ / kWh économisé	0,68	0,38	1,35	0,43
Coût / Teq CO ₂ économisée	1 600	1 400	2 700	1 100

Illustration 42 – Ratios Coût-Efficacité de la solution Géothermie (sans comptabiliser les aides)

¹⁸ Les chiffres négatifs indiquent une plus grande consommation pour la géothermie.

¹⁹ Investissement uniquement.

7.5. ANALYSE DE SENSIBILITE

Afin d'appréhender la sensibilité des résultats aux différents paramètres, une analyse de sensibilité est réalisée sur trois paramètres qui ont une influence importante sur les résultats : la profondeur de l'eau dans le forage (Illustration 43), le coefficient de performance (COP) de la PAC (Illustration 44) et le prix du gaz (Illustration 45).

L'indicateur retenu pour réaliser cette analyse de sensibilité est le différentiel entre le coût de revient de la solution géothermie et celui de la solution de référence. Il représente l'économie en € réalisée pour chaque kWh produit.

La profondeur de l'eau dans le forage, qui dépend des caractéristiques hydrogéologiques propres à l'aquifère exploité, intervient notamment dans le calcul du coût d'investissement du forage et dans les coûts de fonctionnement énergétique.

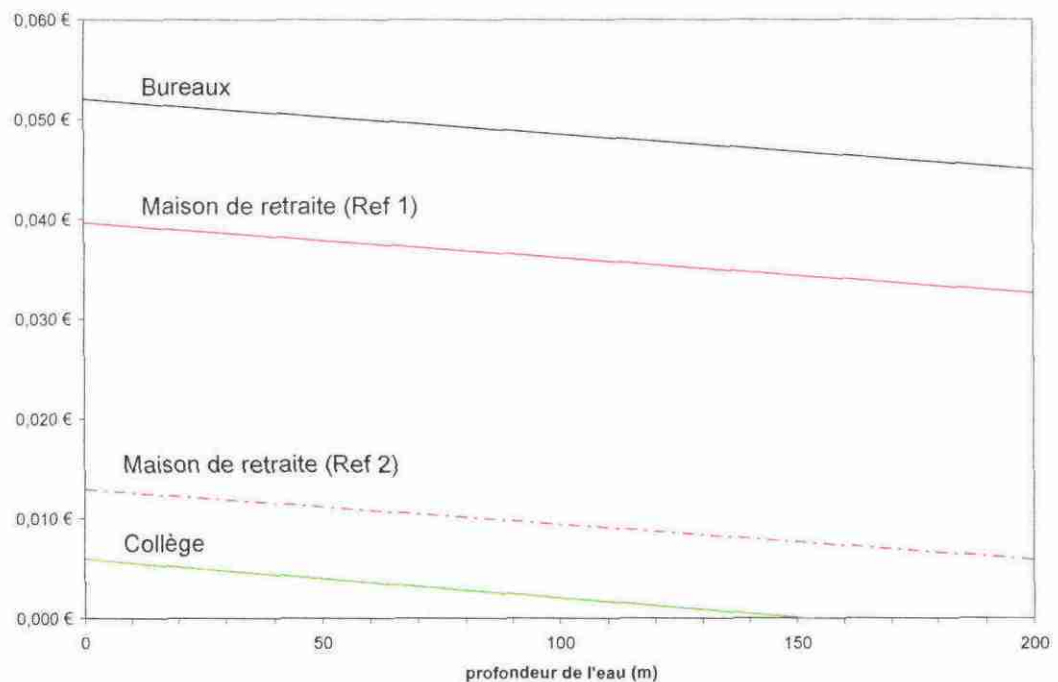


Illustration 43 – Différentiel € par kWh produit en fonction de la profondeur de l'aquifère

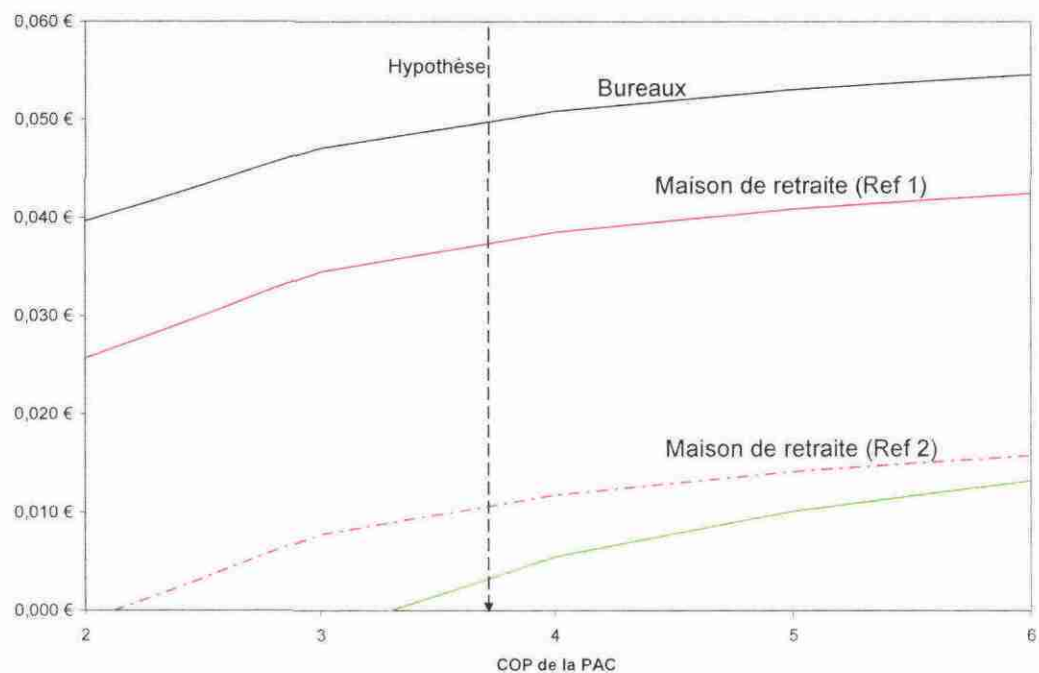


Illustration 44 – Différentiel € par kWh produit en fonction du COP

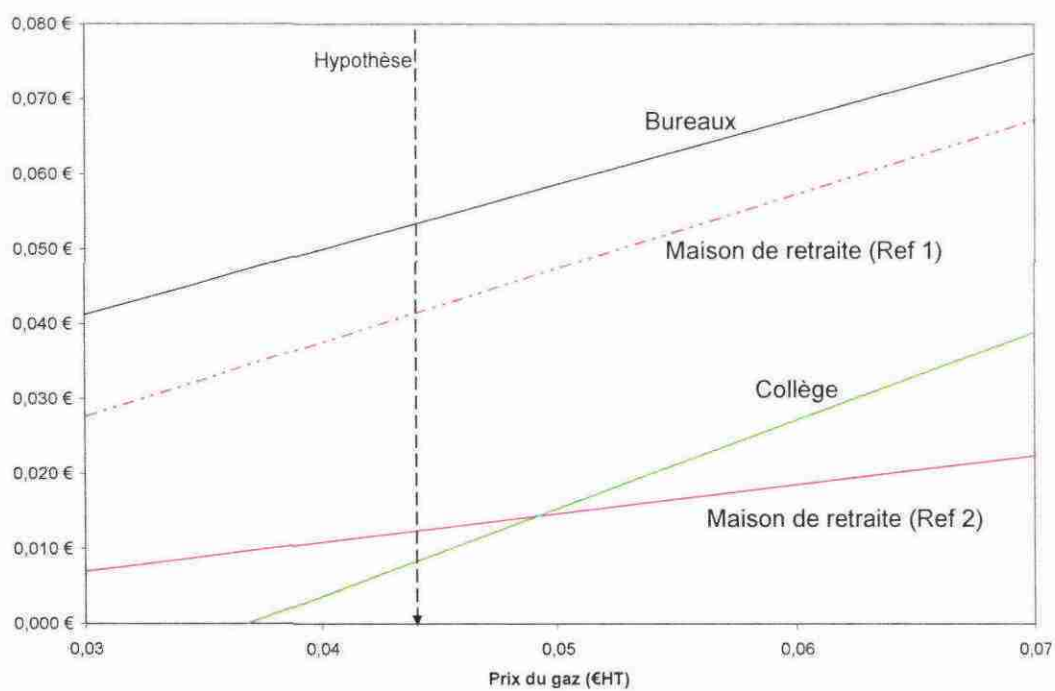


Illustration 45 – Différentiel € par kWh produit en fonction du prix du gaz

7.6. DISCUSSION

L'analyse des résultats du calcul économique suggère que l'intérêt principal de la géothermie réside dans l'économie significative de consommation en énergie primaire et de la réduction de la production de CO₂ par le chauffage et la climatisation. Dans certains cas, le choix de la géothermie semble aussi être un choix gagnant sur un plan économique (maison de retraite et bureaux), à condition que le débit nécessaire soit disponible²⁰, ceci d'autant plus que la profondeur du réservoir est faible.

La rentabilité d'un projet géothermie dépendra du type et de l'intensité de la demande. Dans les trois cas types étudiés on s'aperçoit que l'avantage de la géothermie ressort dans des projets où l'on souhaite également produire du froid (climatisation pour les maisons de retraites et les bureaux). De ce point de vue et compte tenu de la réversibilité de la pompe à chaleur, la géothermie semble relativement intéressante dans le département de l'Hérault où les étés sont particulièrement chauds. L'application à un collège semble plus difficile compte tenu de la faiblesse et de l'intermittence des besoins (sans froid et avec peu d'eau chaude sanitaire).

L'analyse de sensibilité montre que les résultats sont sensibles aux paramètres (i) profondeur de l'eau, (ii) COP et (iii) prix du gaz, et le seraient probablement à un grand nombre d'autre paramètres intervenant dans le calcul. Pour cette raison il est difficile de généraliser l'intérêt de la géothermie et toute décision de lancement d'un projet géothermie ne peut être prise qu'après une étude de faisabilité intégrant tous les paramètres du projet. On note que les résultats sont très sensibles au prix du gaz : dans l'hypothèse où les prix de l'électricité augmenteraient moins que les prix du gaz (contexte actuel) la géothermie aurait un avantage notable puisqu'elle ne consomme pas de gaz mais de l'électricité (et ce en moindre quantité).

²⁰ Nous rappelons qu'ici le débit a été considéré comme non limitant (disponible).

Conclusion

Le découpage des unités hydrogéologiques du département de l'Hérault montre une grande diversité de réservoirs superficiels, qui sont représentés essentiellement par : i) des alluvions connectées le plus souvent aux cours d'eau (Hérault, Orb, Lez, Libron, Vidourle) ; ii) des dépôts villafranchiens apportés par des fleuves et rivières, comme cela est le cas en plaine littorale, entre le Lez et le Vidourle. L'aquifère n'est pratiquement pas en liaison avec les cours d'eau qui le traversent ; iii) des sables tertiaires le plus souvent sous couverture avec en particulier la nappe astienne d'Agde Valras qui se développe sur le littoral, entre l'embouchure de l'Aude et Sète ; iv) des formations calcaires du Crétacé inférieur, Jurassique supérieur, moyen et inférieur, du Dévonien et du Cambrien en Montagne Noire. Plusieurs de ces aquifères calcaires sont déjà intensément exploités pour l'alimentation en eau potable des collectivités. Cependant, il existe encore des ressources mal connues et peu, ou même non encore exploitées. Les autres formations sont généralement moins perméables et elles constituent des aquifères de moindre importance. Cependant, elles peuvent localement présenter un certain intérêt avec en particulier les niveaux molassiques, gréseux, le cas échéant calcaires dans le Miocène, le Crétacé supérieur, ou encore le Trias. Les granites et gneiss qui affleurent dans la partie occidentale du département peuvent être aquifères, mais les débits obtenus ponctuellement restent limités. Les potentialités se rencontrent soit dans la frange altérée superficielle (arènes), soit dans la partie fissurée et fracturée plus profonde. La complexité géologique du département de l'Hérault amène à différencier cinq niveaux de superposition de réservoirs distincts jusqu'à des profondeurs relativement faibles, généralement moins de 500 m, voire même 250 m.

Un ensemble de 158 secteurs hydrogéologiquement homogènes est défini. Pour tous les secteurs hydrogéologiques homogènes dénombrés (158 secteurs), et pour chacun des niveaux qui y sont reconnus, est indiqué un certain nombre de caractéristiques à prendre en compte dans une évaluation du potentiel d'utilisation géothermique des aquifères superficiels. Il s'agit des paramètres suivants : i) profondeur du réservoir ; ii) épaisseur du réservoir ; iii) débit potentiel moyen mobilisable ; iv) transmissivité des terrains ; v) perméabilité des terrains ; vi) sensibilité du réservoir à l'utilisation de l'eau à des fins géothermiques ; cette sensibilité est définie en fonction de l'importance de la ressource disponible, de la liaison éventuelle plus ou moins directe du réservoir avec les eaux de surface (cours d'eau et étangs littoraux) et donc de l'impact potentiel de l'exploitation géothermique sur les eaux superficielles, du fait pour l'aquifère d'être exploité pour l'AEP ou de constituer un aquifère patrimonial sensible à la surexploitation, etc. Dans chaque secteur hydrogéologique homogène on dispose ainsi, pour chaque réservoir superficiel rencontré, d'un certain nombre de paramètres utiles à la caractérisation des propriétés de l'aquifère en vue de son utilisation à des fins géothermiques. Deux de ces paramètres interviennent au premier ordre dans l'évaluation du potentiel géothermique présenté par les réservoirs présents dans les secteurs hydrogéologiquement homogènes : le débit potentiel moyen mobilisable des réservoirs superficiels rencontrés, et la sensibilité des aquifères à une utilisation à des fins géothermiques.

L'évaluation du potentiel géothermique des aquifères superficiels est fournie par la lecture coordonnée de ces deux présentations.

Hormis les réservoirs superficiels ou relativement superficiels, on a aussi cartographié le toit des différents réservoirs plus profonds, qui peuvent être utilisés pour l'exploitation de l'eau souterraine comme vecteur de calories. Il s'agit d'une évaluation simplifiée en raison de la complexité géologique qui peut être observée sur toute la partie littorale et médiane du département de l'Hérault. Ces unités géologiques profondes restent encore le plus souvent mal connues, mais elles peuvent constituer des cibles majeures pour un projet d'exploitation de calories véhiculées par l'eau souterraine. C'est notamment le cas pour les calcaires jurassiques qui se révèlent un aquifère majeur dans la structure liée au pli de Montpellier et à son extension vers l'Ouest. Ainsi, les forages de la Castillonne à Montagnac et de Pézenas qui sont actuellement exploités peuvent fournir chacun plus de 200 m³/h avec une température de l'eau de 29°C sur le premier site et 37°C sur le second. Les réservoirs correspondent essentiellement aux calcaires du Jurassique, du Lias ou du Dévonien et Cambrien. A 500 m de profondeur, la température de l'eau pouvant être rencontrée doit être comprise entre 25 et 30°C, hormis d'éventuelles anomalies géothermiques possibles. Les schistes et micaschistes en Montagne Noire ont été classés sans ressources en eau, eu égard à leur très faible productivité et donc à l'absence d'intérêt de ces formations dans le cadre de l'exploitation de gîte géothermique à moyenne profondeur.

En matière d'anomalies géothermiques, des conditions de ce type peuvent être rencontrées dans le département de l'Hérault notamment dans le secteur des sources thermales : Balaruc-les-Bains, Lamalou-les-Bains, Avène, ou encore les secteurs de Sète et de Fontcaude à Juvignac. Des anomalies géothermiques avec une extension latérale plus marquée sont aussi connues, en particulier au Sud immédiat de la ville de Lodève, entre la Lergue et le village du Puech, voire plus encore à l'Ouest. Le réservoir est représenté par les calcaires et dolomies du Cambrien pouvant se situer à moins de 200 m de profondeur, notamment entre l'agglomération du Puech et le site du Capitoul à proximité de la Lergue. Cet aquifère cambrien est affecté par un réseau très important de failles. En raison de la proximité du socle et de nombreux accidents tectoniques, d'importantes remontées de gaz carbonique d'origine profonde réchauffent localement ces eaux contenues dans les formations cambriennes. Cela induit une anomalie géothermique très marquée qui fait l'objet d'une exploitation par forages par la SARL les Serres du Lodévois dans le cadre du permis d'exploitation de gîte géothermique d'Olmet. Le forage exploité par les Serres du Lodévois (forage de Grand-Champ), localisé sur la commune du Puech, a une profondeur de l'ordre de 150 m et une température de l'eau de 53°. Quatre autres forages (BELET 2, 3, 4 et 5) situés au lieu-dit St-Fulcran, sur la commune de Lodève, sont également exploités pour le chauffage de serres pour une température de l'eau de 30° et un débit proche de 50 m³/h. Dans le secteur de Sète, des manifestations d'eau à température supérieure à 25°C sont connues dans le quartier des Métairies, en bordure de l'Etang de Thau. Elles apparaissent dans un contexte géologique sensiblement identique à celui de Balaruc-les-Bains au Nord Est de l'Etang de Thau. Le réservoir est représenté par des calcaires jurassiques sous couverture.

Deux planches hors-texte en annexe du rapport fournissent la cartographie à l'échelle du 1/100 000 des réservoirs superficiels et des réservoirs à moyenne profondeur dont les ressources peuvent être mobilisées pour des opérations de géothermie sur nappe. Un atlas géothermique a également été élaboré sous la forme d'un document HTML qui présente, à l'échelle de chaque commune du département, le potentiel géothermique rencontré des nappes superficielles et les ressources situées à moyenne profondeur.

L'analyse des résultats du calcul économique autour de trois cas-types (Maison de retraite-60 lits, Collège-460 élèves, Bureaux-10 000 m²) suggère que l'intérêt principal de la géothermie réside dans l'économie significative de consommation en énergie primaire et de la réduction de la production de CO₂ par le chauffage et la climatisation. Dans certains cas, le choix de la géothermie semble aussi être un choix gagnant sur un plan économique (maison de retraite et bureaux), à condition que le débit nécessaire soit disponible, ceci d'autant plus que la profondeur du réservoir est faible. La rentabilité d'un projet géothermie dépendra du type et de l'intensité de la demande. Dans les trois cas types étudiés on s'aperçoit que l'avantage de la géothermie ressort dans des projets où l'on souhaite également produire du froid (climatisation pour les maisons de retraites et les bureaux). De ce point de vue et compte tenu de la réversibilité de la pompe à chaleur, la géothermie semble relativement intéressante dans le département de l'Hérault où les étés sont particulièrement chauds. L'application à un collège semble plus difficile compte tenu de la faiblesse et de l'intermittence des besoins (sans froid et avec peu d'eau chaude sanitaire).

L'analyse de sensibilité montre que les résultats sont sensibles aux paramètres (i) profondeur de l'eau, (ii) COP et (iii) prix du gaz, et le seraient probablement à un grand nombre d'autre paramètres intervenant dans le calcul. Pour cette raison il est difficile de généraliser l'intérêt de la géothermie et toute décision de lancement d'un projet géothermie ne peut être prise qu'après une étude de faisabilité intégrant tous les paramètres du projet. On note que les résultats sont très sensibles au prix du gaz : dans l'hypothèse où les prix de l'électricité augmenteraient moins que les prix du gaz (contexte actuel) la géothermie aurait un avantage notable puisqu'elle ne consomme pas de gaz mais de l'électricité (et ce en moindre quantité).

Bibliographie

ADEME, ARENE, BRGM (2008) – Pompe à chaleur géothermique sur aquifère - Conception et Mise en Œuvre – Collection Guide Technique

Alabouvette.B., Poul.X., Andreieff.P., Farjanel.G., Fauconnier.D., Monciardini.C. (1981) – Forage géothermique du Cap d'Agde (Hérault). Rapport de fin de sondage. Société d'Equipement du Biterrois et de son littoral (S.E.B.L.I.). Rap. BRGM 81SGN547LRO

Bérard.P. (1980) – Possibilités offertes par la géothermie dans la vallée de l'Hérault. Rap. BRGM 80LRO355PR

Bérard.P., Alabouvette.B., Poul.X., Viala.J.P., Fauconnier.D., Monciardini.C. (1981) – Forage de reconnaissance géothermique de Bagatelle – Commune de Montpellier (Hérault) – Rapport de fin de sondage. Rap. BRGM 81SGN689LRO

Blaise.M., Marchal.J.P. (2006) – Description des aquifères du département de l'Hérault. Rap. BRGM/RP-54849-FR, 58 p., 6 ill., 1 ann.

BRGM (1981) – Possibilités d'utilisation de la géothermie pour différentes zones d'aménagement de la Ville de Sète – Etude de faisabilité. Ville de Sète. Rap. BRGM 81SGN703LRO

BRGM (1982) – Possibilités d'utilisation de la géothermie pour différentes zones d'aménagement de la ville de Sète (34). Complément d'étude de faisabilité de 1981. Ville de Sète (Hérault). Rap. BRGM 82LRO443PR

BRGM (1982) – Projet de chauffage par géothermie de la ZAC des Métairies à Sète (Hérault) – Examen des données géologiques relatives au sous-sol de la région environnant le site – Proposition d'exécution d'un forage d'exploration. Ville de Sète (Hérault). Rap. BRGM 82LRO447PR

BRGM (1983) – Projet « Energies nouvelles » pour le quartier d'Antigone – Ville de Montpellier (Hérault) – Etude de faisabilité d'un projet géothermique – Partie sous-sol. Société d'Equipement de la région Montpelliéraine (SERM). Rap. BRGM 83SGN295LRO

BRGM (1984) – Domaine de la Castillonne. Montagnac (34) – Dossier pour constitution d'une demande d'aide financière relative à l'exécution d'un forage géothermique sur le domaine de la Castillonne – Commune de Montagnac (Hérault). Rap. BRGM 84LRO570PR

Geotherma S.A., Université de Bordeaux III (1983) – Etude de synthèse du potentiel géothermique du littoral méditerranéen de Marseille à Perpignan.

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

Marchal.J.P., Blaise.M. (2004) – Actualisation de la synthèse hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon. Rapport méthodologique. BRGM/RP-53020-FR, 31 p., 8 ill., 1 vol. séparé

Marchal.J.P., Goyénèche.O., Chéradame.J.M., Lasne.E., Volle.N. (1997) – Potentiel de développement géothermique du Lodévois. Ministère de l'Industrie, ADEME. Rap. BRGM R 39405, 75 p., 13 tab., 14 fig., 2 ann.

Poul.X., Aubertin.G., Lejeune.J.M. (1982) – Etude de faisabilité d'un projet géothermique à Montpellier (Bagatelle) Partie sous-sol. Géochaleur. Rap. BRGM 82SGN893GTH/LRO

Poul.X. (1984) – Forage géothermique Pézenas 2 – Examen de l'état de l'ouvrage et des possibilités d'améliorer son exploitation. Ville de Pézenas. Rap. BRGM 84AGI135LRO

Poul.X., Alabouvette.B. (1982) – Forage de reconnaissance géothermique du quartier Antigone à Montpellier (Hérault) – Rapport de fin de sondage. Société d'Equipement de la région Montpellieraine (SERM). Rap. BRGM 82SGN888LRO

Poul.X., Alabouvette.B. (1983) – Forage de reconnaissance géothermique du quartier des Métairies à Sète (Hérault) – Rapport de fin de sondage. Ville de Sète (Hérault). Rap. BRGM 83SGN570LRO

Poul.X., Berger.G. (1983) – Secteur universitaire Nord de Montpellier – Etude de faisabilité d'un projet géothermique – Partie sous-sol. Université de Montpellier. Rap. BRGM 83SGN305LRO

Sauveplane.C., Clot.A. (1979) – Géothermie Cap d'Agde (Hérault) Dossier de pré-étude. Société d'Equipement du Biterrois et de son littoral (S.E.B.L.I.). Rap. BRGM 79LRO269PR

Serrano.O., Hanot.F., Le.Strat.P. (2005) – Le bassin oligo-miocène de l'Hérault : un exemple de rétrocharriage des structures pyrénéennes. Implications hydrogéologiques. Rapport BRGM RP-53733-FR

Teissier.J.L. (1987) – Forage géothermique de la Castillonne GCAST 1 – Rapport de fin de travaux. Monsieur RIBES – Domaine de la Castillonne – Montagnac (Hérault). Rap. BRGM 87SGN062LRO

Teissier.J.L., Grumo.G. (1985) – Zone horticole du Mas Saint-Pierre – Commune de Lunel (Hérault) – Etude de faisabilité d'un chauffage des serres par géothermie. Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural du Languedoc Roussillon. Rap. BRGM 85AGI062LRO

Annexe 1 – Fiches d'opération standardisées

La liste des principaux textes législatifs sur le sujet est consultable sur le site de la DGEMP <http://www.industrie.gouv.fr/energie/developp/econo/cee-clics.htm> :

- circulaire du 18 juillet 2006 relative à la délivrance des certificats d'économie d'énergie qui précise notamment les diverses modalités d'instruction des demandes de certificats d'économies d'énergie ;
- arrêté du 19 juin 2006 définissant les opérations standardisées d'économies d'énergie ;
- arrêté du 19 juin 2006 fixant la liste des pièces d'un dossier de demande de certificats d'économies d'énergie ;
- arrêté du 30 mai 2006 relatif aux modalités d'application du dispositif de certificats d'économies d'énergie ;
- décret n°2006-603 du 23 mai 2006 relatif aux certificats d'économies d'énergie ;
- décret n° 2006-600 du 23 mai 2006 relatif aux obligations d'économies d'énergie dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie ;
- décret n° 2006-604 du 23 mai 2006 relatif à la tenue du registre national des certificats d'économie d'énergie.

Les exemples de fiches standardisées se référant à la géothermie sont donnés en suivant.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° BAR-TH-03

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'application

Bâtiment résidentiel : maisons individuelles et appartements existants.

2. Dénomination

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP) mesuré selon la norme EN 14511 égal ou supérieur à 3.

Mise en place réalisée par un professionnel.

Informations à fournir impérativement : ancienneté du bâtiment (avant ou après 75).

4. Durée de vie conventionnelle

16 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Maison individuelle		
COP	Zone climatique	KWh cumac
3,5 > COP ≥ 3	H1	150 000
	H2	120 000
	H3	81 000
4 > COP ≥ 3,5	H1	160 000
	H2	130 000
	H3	87 000
COP ≥ 4	H1	165 000
	H2	140 000
	H3	91 000

X

Facteur correctif (1)	Surface habitable en m²	Nombre de pièces principales
0,2	< 35	1
0,4	35 – 60	2
0,7	60 – 80	3
0,9	80 – 100	4
1,1	100 – 130	5
1,4	> 130	≥ 6

Appartement		
COP	Zone climatique	KWh cumac
3,5 > COP ≥ 3	H1	62 000
	H2	50 000
	H3	34 000
4 > COP ≥ 3,5	H1	67 000
	H2	54 000
	H3	36 000
COP ≥ 4	H1	69 000
	H2	57 000
	H3	38 000

X

Facteur correctif (1)	Surface habitable en m²	Nombre de pièces principales
0,3	< 35	1
0,7	35 – 60	2
1	60 – 80	3
1,4	80 – 100	4
1,7	100 – 130	5
2,2	> 130	≥ 6

(1) Le facteur correctif est déterminé à partir soit du nombre de pièces principales, soit de la surface habitable.





Certificats d'économies d'énergie

Opération n° BAT-TH-13

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'application

Bâtiment tertiaire : locaux du secteur tertiaire existants, de surface totale inférieure à 5000 m².

2. Dénomination

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau sur un système de chauffage électrique direct.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP) mesuré selon la norme EN 14511 égal ou supérieur à 3.

Mise en place réalisée par un professionnel.

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire en kWh cumac / m²				X	Surface en m²	X	Zone climatique	Facteur correctif
Branche d'activité	3 ≤ COP < 3,5	3,5 ≤ COP < 4	4 ≤ COP					
Bureaux	1 000	1 100	1 200	X	S	X	H1	1,1
Enseignement	680	720	760				H2	0,9
Commerces	760	820	850				H3	0,6
Hôtellerie – Restauration	820	880	930					
Santé	950	1 000	1 100					



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° RES-CH-01

Production de chaleur renouvelable en réseau (France métropolitaine)

1. Secteur d'application

Bâtiment résidentiel collectif et bâtiment tertiaire en France métropolitaine

2. Dénomination

Mise en place d'un système de production de chaleur renouvelable (géothermie, incinération, bois – énergie, biogaz, chaleur industrielle ...) sur un réseau de chaleur.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Cette fiche s'applique aux installations non soumises à la Directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre.

On utilise pour la chaleur renouvelable nette la définition retenue dans le décret n° 99-360 du 5 mai 1999 portant sur les réseaux classés de distribution de chaleur et de froid qui intègre à la fois les énergies renouvelables et de récupération

La chaleur renouvelable nette sera déterminée par une étude spécifique. Le terme kWh_{th} est égal au nombre de kWh renouvelables net produits et valorisés par an par l'installation.

4. Durée de vie conventionnelle

Pour les sources d'énergie Bois Energie et Biogaz : 15 ans.

Pour les sources d'énergie UIOM – Déchets, Géothermie et autres : 20 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Source d'énergie	Coefficient cumac		Chaleur renouvelable nette en kWh_{th} / an
Bois Energie Biogaz	11,563	X	kWh_{th}
UIOM – Déchets Géothermie Autres	14,134		

Annexe 2 – Entités hydrogéologiques départementales et ouvrages déclarés

L'illustration 46 fournit la liste des entités hydrogéologiques départementales avec la correspondance avec le découpage régional. Ces données sont issues du Rap. BRGM/RP-54849-FR « Description des aquifères du département de l'Hérault ». L'illustration 47 donne la liste des ouvrages géothermiques déclarés dans la Banque du sous-sol (BSS).

Illustration 46 – Entités hydrogéologiques pour le département de l'Hérault

Code nappe locale	Désignation de la nappe locale	Typologie	Code régional	Désignation de l'entité hydrogéologique régionale
141a0-1	Calcaires du Lias et Dogger de la Buèges	sédim. karstique	141a0	Calcaires jurassiques de la Buège-St Guilhem
141a0-2	Calcaires et dolomies de l'Hettangien entre St Guilhem et Rabieux	sédim. karstique		
141a0-3	Calcaires jurassiques de la Séranne à l'Escalette	sédim. karstique		
141a0-4	Grès du Trias de la Buèges St Guilhem	sédim. non karstique		
141a0-5	Colluvions du ruisseau du Verdus	alluvial		
141a1-1	Alluvions de la Vis	alluvial	141a1	Calcaires jurassiques de la Séranne et rive droite de la Vis
141a1-2	Calcaires jurassiques de la Séranne et de la Foux de Brissac	sédim. karstique		
141a2-1	Calcaires du Jurassique supérieur et moyen du Larzac méridional de St Michel à St Pierre de la Fage	sédim. karstique	141a2	Calcaires jurassiques du Larzac méridional de St Michel à St Pierre de la Fage
141a2-2	Grès du Trias du Larzac méridional de St Michel à St Pierre de la Fage	sédim. non karstique		
141a3	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et Thaurac	sédim. karstique	141a3	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et Thaurac
141b-1	Calcaires et dolomies hettangiens en rive gauche de la Vis	sédim. karstique	141b	Calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac et du Causse de Blandas
141b-2	Calcaires et dolomies jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac	sédim. karstique		
141c-1	Calcaires et dolomies de l'Hettangien de la terminaison méridionale du Larzac au Nord de Lodève	sédim. karstique	141c	Calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac au Nord de Lodève et du massif de l'Escandorgue
141c-2	Calcaires et dolomies du Dogger de la terminaison méridionale du Larzac au Nord de Lodève	sédim. karstique		
141c-3	Grès du Trias de la terminaison méridionale du Larzac au Nord de Lodève	sédim. non karstique		
141d-1	Colluvions sur Trias de l'Avant Causse de St Affrique	alluvial	141d	Calcaires jurassiques de l'avant-Causse de St Affrique

Code nappe locale	Désignation de la nappe locale	Typologie	Code régional	Désignation de l'entité hydrogéologique régionale
141d-2	Calcaires hettangiens de l'avant Causse de St Affrique	sédim. karstique		
141d-3	Grès du Trias de l'Avant Causse de St Affrique	sédim. non karstique		
142a-1	Alluvions du Brestalou et calcaires hauteriviens du compartiment oriental du système karstique de la source du Lez	alluvial	142a	Calcaires et marnes jurassiques du compartiment occidental du système karstique de la source du Lez
142a-2	Calcaires jurassiques du compartiment occidental du système karstique de la source du Lez	sédim. karstique		
142a-3	Calcaires et dolomies du Dogger du compartiment occidental du système karstique de la source du Lez	sédim. karstique		
142a-4	Calcaires jurassiques des Fontanilles	sédim. karstique		
142a-5	Calcaires jurassiques du compartiment sud-occidental du système karstique de la source du Lez	sédim. karstique		
142b	Calcaires jurassiques et berriasiens du compartiment oriental du système karstique de la source du Lez	sédim. karstique	142b	Calcaires et marnes jurassiques du compartiment oriental du système karstique de la source du Lez
142c	Calcaires du Crétacé inférieur du Causse de l'Hortus	sédim. karstique	142c 142d	Calcaires du Crétacé inférieur du Causse de l'Hortus
142d	Molasses, et calcaires du bassin de St Martin de Londres	sédim. non karstique		
143a	Calcaires jurassiques du pli occidental de Montpellier	sédim. karstique	143a	Calcaires jurassiques du Pli Occidental de Montpellier
143c	Calcaires jurassiques de la Gardiole	sédim. karstique	143c	Calcaires jurassiques de la Gardiole
143d-1	Calcaires jurassiques du Pli oriental de Montpellier	sédim. karstique	143d	Calcaires jurassiques du Pli Oriental de Montpellier
143d-2	Molasses miocènes et calcaires jurassiques du pli de Montpellier	sédim. karstique		
214c	Calcaires de l'Eocène inférieur et moyen du Minervois	sédim. karstique	214c	Calcaires de l'Eocène inférieur et moyen du Minervois
226	Sables astiens d'Agde-Valras-embouchure de l'Aude	sédim. non karstique (captif)	226	Sables astiens d'Agde-Valras-embouchure de l'Aude
227	Calcaires cambriens du Lodévois	sédim. karstique (captif)	227	Calcaires cambriens du Lodévois
328e1	Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre le Vidourle et le Lez	alluvial	328e1	Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre le Vidourle et le Lez
328e2	Sables et marnes tertiaires du secteur de Montpellier	alluvial	328 e2	Sables et marnes tertiaires du secteur de Montpellier

Code nappe locale	Désignation de la nappe locale	Typologie	Code régional	Désignation de l'entité hydrogéologique régionale
328e3	Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre Montpellier et Sète	alluvial	328e3	Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre Montpellier et Sète
334a	Alluvions quaternaires de l'Hérault du secteur de Ganges-Saint-Bauzille de Putois	alluvial	334a	Alluvions quaternaires de l'Hérault du secteur de Ganges-Saint-Bauzille de Putois
334b1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de l'Hérault entre le Pont du Diable et la Mer	alluvial	334b1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de l'Hérault entre le Pont du Diable et la Mer
334b2	Alluvions quaternaires récentes de l'Hérault entre le Pont du Diable et la Mer	alluvial	334b2	Alluvions quaternaires récentes de l'Hérault entre le Pont du Diable et la Mer
334c1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de la Lergue	alluvial	334c1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de la Lergue
334c2	Alluvions quaternaires récentes de la Lergue	alluvial	334c2	Alluvions quaternaires récentes de la Lergue
334d	Alluvions quaternaires de la Thongue	alluvial	334d	Alluvions quaternaires de la Thongue
334e	Alluvions quaternaires de la Peyne	alluvial	334e	Alluvions quaternaires de la Peyne
335	Alluvions quaternaires du Libron	alluvial	335	Alluvions quaternaires du Libron
336b	Alluvions quaternaires de l'Orb dans le secteur de Lamalou	alluvial	336b	Alluvions quaternaires de l'Orb dans le secteur de Lamalou
336c	Alluvions quaternaires de l'Orb et du Vernazobres dans le secteur de Cessenon	alluvial	336c	Alluvions quaternaires du Jaur
336d1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de l'Orb entre Réals et la Mer	alluvial	336d1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de l'Orb entre Réals et la Mer
336d2	Alluvions quaternaires récentes de l'Orb entre Réals et la Mer	alluvial	336d2	Alluvions quaternaires récentes de l'Orb entre Réals et la Mer
337a	Alluvions quaternaires de l'Aude en aval d'Olonzac	alluvial	337a	Alluvions quaternaires de l'Aude en aval d'Olonzac
338	Alluvions quaternaires du Lez	alluvial	338	Alluvions quaternaires du Lez
556b1	Conglomérats et cailloutis éocènes du bassin de Castries Sommières	sédim. non karstique	556b	Molasses miocènes des bassins de Castries et Sommières
556b2	Molasses burdigaliennes du bassin de Castries	sédim. non karstique		
556b3	Molasses burdigaliennes du bassin de Sommières	sédim. non karstique		
556d1-1	Calcaires miroitants du Valanginien en rive droite du Vidourle	sédim. karstique	556d1	Calcaires du Crétacé inférieur des Garrigues nîmoises
556d1-2	Calcaires du Crétacé inférieur en rive droite du Vidourle	sédim. karstique		

Code nappe locale	Désignation de la nappe locale	Typologie	Code régional	Désignation de l'entité hydrogéologique régionale
5575a1-1	Calcaires yprésiens du Minervois	sédim. non karstique	557a1	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin de Carcassonne, dans le bassin versant de l'Aude
5575a1-2	Grès de l'Eocène du Minervois	sédim. non karstique		
557c0-1	Alluvions du ruisseau de Laur	alluvial	557c0	Calcaires et marnes éocènes et oligocènes de l'avant pli de Montpellier
557c0-2	Calcaires lutétiens de l'avant pli de Montpellier	sédim. non karstique		
557c0-3	Calcaires lutétiens en rive gauche de l'Hérault	sédim. non karstique		
557c0-4	Calcaires et grès rognaciens de l'avant pli de Montpellier	sédim. non karstique		
557c0-5	Calcaires crétacés de l'avant Pli de Montpellier	sédim. non karstique		
557c1-1	Calcaires oligocènes de l'avant pli de Montpellier	sédim. non karstique		
557c1-1	Calcaires et grès rognaciens du bassin versant de l'Etang de Thau	sédim. non karstique	557c1	Marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le Bassin versant de l'Etang de Thau
557c1	Graviers sparnaciens du bassin versant de l'Hérault	sédim. non karstique		
557c1	Molasses miocènes du fossé de Montbazin-Gigean	sédim. non karstique		
557c1	Calcaires oligocènes dans le bassin versant de l'Etang de Thau	sédim. non karstique		
557c2-1	Alluvions de la Garèle et grès miocènes	alluvial	557c2	Marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le Bassin versant de l'Hérault
557c2-2	Calcaires éocènes du Bas Languedoc dans le bassin versant de l'Hérault	sédim. non karstique		
557c2-3	Molasses miocènes du Bas Languedoc dans le bassin versant de l'Hérault	sédim. non karstique		
557c2-4	Grès du Trias dans le bassin versant de l'Hérault	sédim. non karstique		
557c3-1	Grès et molasses miocènes du bassin versant du Libron	sédim. non karstique	557c3	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin versant du Libron
557c4-1	Grès et molasses miocènes du secteur de Béziers	sédim. non karstique	557c4	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin versant de l'Orb
557c5-1	Calcaires miocènes du bassin versant de l'Aude	sédim. non karstique	557c5	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin versant de l'Aude
557c5-2	Calcaires oligocènes du bassin versant de l'Aude	sédim. non karstique		
557e-1	Alluvions du ruisseau de Quarante	alluvial	557e	Calcaires et marnes du Trias à l'Eocène de l'Arc de St Chinian
557e-2	Calcaires et grès éocènes et rognaciens de l'Arc de St Chinian	sédim. non karstique		
557e-3	Calcaires liasiques de l'Arc de St Chinian	sédim. karstique		

Code nappe locale	Désignation de la nappe locale	Typologie	Code régional	Désignation de l'entité hydrogéologique régionale
557e-4	Grès du Trias de l'Arc de St Chinian	sédim. non karstique		
558a1-1	Calcaires et dolomies du Cambrien de l'unité des Monts de St Gervais	sédim. karstique	558a1	Schistes, granites, calcaires et dolomies primaires des Monts de Lacaune (unités des Monts de St Gervais, d'Avène-Mendic et de Mélagues (hétérogène)
558a1-2	Calcaires et dolomies du Cambrien de l'unité d'Avène-Mendic	sédim. karstique		
558a1-3	Schistes, micaschistes des Monts de St Gervais	socle		
558a1-4	Schistes carbonifères du bassin de Graissessac	socle		
558a1-5	Calcaires et dolomies du Cambrien de l'unité de Mélagues	sédim. karstique		
558a1-6	Granite du Mendic	socle		
558a1-7	Schistes, micaschistes de l'unité d'Avène Mendic	socle		
558a1-8	Schistes, micaschistes de l'unité de Mélagues	socle		
558a2-1	Gneiss et micaschistes de la zone axiale de la Montagne Noire dans le bassin versant de l'Aude	socle	558a2	Schistes et granites de la zone axiale de la Montagne Noire dans le B.V. de l'Aude
558a3-1	Granites, gneiss et micaschistes de la zone axiale de la Montagne Noire (Caroux, Espinouse) dans le bassin versant de l'Orb	socle	558a3	Schistes et granites de la zone axiale de la Montagne Noire (Caroux, Espinouse) dans le B.V. de l'Orb
558a4	Gneiss et granites de la zone axiale de la Montagne Noire dans le bassin versant du Thoré et de l'Agout	socle	558a4	Gneiss et granites de la zone axiale de la Montagne Noire dans le B.V. du Thoré et de l'Agout
558a5	Micaschistes, granites et gneiss du bassin versant du Tarn	socle	558a5	Micaschistes, granites et gneiss du bassin versant du Tarn
558b1-1	Calcaires et dolomies du Cambrien et Dévonien des Monts de Faugères et des écaïlles de Cabrières	sédim. karstique	558b1	Schistes, marnes et calcaires primaires de la nappe des Monts de Faugères et des écaïlles du Cabrières (hétérogène)
558b1-2	Schistes cambriens et ordoviciens des Monts de Faugères et des écaïlles de Cabrières	socle		
558b2-1	Alluvions du Jaur	alluvial	558b2	Schistes, marnes et calcaires primaires de la nappe de Pardailhan (hétérogène)
558b2-2	Alluvions du ruisseau de Rieuberlou	alluvial		
558b2-3	Calcaires cambriens du système de la Cesse	sédim. karstique		
558b2-4	Calcaires cambriens de la nappe de Pardailhan	sédim. karstique		
558b2-5	Calcaires dévoniens de la nappe de Pardailhan	sédim. karstique		

Code nappe locale	Désignation de la nappe locale	Typologie	Code régional	Désignation de l'entité hydrogéologique régionale
558b2-6	Schistes, grès schisteux de Barrubio, grès schisteux de Marcory des nappes de Pardailhan	socle		
558b3-1	Grès schisteux de Barrubio et schistes du Minervois	socle	558b3	Calcaires, marnes et schistes primaires du Minervois (hétérogène)
558c-1	Alluvions de la Mare	alluvial	558c	Dolomies et calcaires jurassiques du fossé de Bédarieux
558c-2	Conglomérats du Trias et calcaires du Cambrien de l'aquifère thermal de Lama-lou	sédim. non karstique		
558c-3	Dolomies et calcaires het-tangiens du fossé de Bédarieux	sédim. non karstique		
558c-4	Dolomies et calcaires jurassiques du fossé de Bédarieux	sédim. non karstique		
558c-5	Grès du Trias du fossé de Bédarieux	sédim. non karstique		
558d	Pélites permienes du Lodévois	sédim. non karstique	558d	Pélites permienes du Lodévois
-701-1	Basaltes de l'Escandorgue sur calcaires jurassiques du Larzac méridional de St Michel à St Pierre de la Fage	basalte		Basaltes
-701-2	Basaltes de l'Escandorgue sur calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac et du Causse de Blandas	basalte		
-701-3	Basaltes de l'Escandorgue sur calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac au Nord de Lodève et du massif de l'Escandorgue	basalte		
-701-4	Basaltes de l'Escandorgue sur marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le bassin versant de l'Hérault	basalte		
-701-5	Basaltes de l'Escandorgue sur pélites permienes du Lodévois	basalte		

Illustration 47 – Ouvrages géothermiques déclarés dans la Banque du sous-sol (BSS)

Indice	Commune	Lieu-dit	Nature	Prof. atteinte	Fin des travaux	Recherche – Utilisation
10407X0066	Agde	Cap d'Agde	sondage	1062	01/05/1981	eau, géothermie
09617X0243	Avène		forage	87, 65		thermalisme
09617X0202	Avène	Sainte-Odile (source cristal) bains d'Avène	source			thermalisme
10165X0019	Balaruc-les-Bains	établissement thermal de Balaruc, sondage n.2 bis	sondage	36	10/10/1963	eau-thermale
10165X0018	Balaruc-les-Bains	établissement thermal de Balaruc sondage no 9	sondage	13	22/10/1963	eau-thermale
10165X0017	Balaruc-les-Bains	établissement thermal de Balaruc sondage n. 5	sondage	37	12/09/1963	eau-thermale
10165X0218	Balaruc-les-Bains	th. forage f9 (ase)	forage	120		thermalisme
10165X0234	Balaruc-les-Bains	forage f8 (saint-clair)	forage			thermalisme
10165X0016	Balaruc-les-Bains	établissement thermal de, forage n. 7	forage	41, 2	03/10/1963	eau-thermale
10172X0030	Grande-Motte(la)	point zéro	forage	48	08/07/1986	thermalisme
10158X0138	Montagnac	La Castillonne	forage	1 501,4	25/11/1986	thermalisme
09887X0118	Lamalou-les-Bains	source nouvelle. source du sondage. centre bourges (en ville)	forage			thermalisme
09887X0069	Lamalou-les-Bains	source bourges	forage	27	01/01/1860	thermalisme, eau-minérale
09887X0120	Lamalou-les-Bains	sa2, pztv fr mus-clade	sondage	200	19/11/1993	eau-thermale
09887X0119	Lamalou-les-Bains	lb1 ou lb1 bis	forage	253, 45	30/06/1993	thermalisme, embouteillage, eau-minérale
09887X0148	Lamalou-les-Bains	forage verniere 2	forage			thermalisme, eau-thermale
09887X0098	Lamalou-les-Bains	nouveau forage bourges	forage	75	03/12/1979	thermalisme, eau-thermale
09887X0149	Lamalou-les-Bains	forage Sandrine	forage			thermalisme, eau-thermale
09887X0042	Lamalou-les-Bains	usclade 2.	forage-incline	78	14/04/1970	thermalisme, eau-thermale
09887X0070	Lamalou-les-Bains	source capus	source			thermalisme
09887X0071	Lamalou-les-Bains	source saint-joseph = François – colonie sanitaire thermique	forage	130	01/06/1951	thermalisme
09883X0229	Lunas	mine de Truscas	galerie	2,5	01/01/1948	thermalisme

Indice	Commune	Lieu-dit	Nature	Prof. atteinte	Fin des travaux	Recherche – Utilisation
09892X0652	Lodève	St Fulcran BELLET 2	forage	80	01/07/1977	géothermie (basse enthalpie)
09891X0080	Lodève	St Fulcran BELLET 3	forage	150	01/07/1977	géothermie (basse enthalpie)
09892X0653	Lodève	St Fulcran BELLET 4	forage	60	01/09/1977	géothermie (basse enthalpie)
09892X0654	Lodève	St Fulcran BELLET 5	forage	60	01/10/1977	géothermie (basse enthalpie)
10158X0138	Montagnac	La Castillonne	forage	1501,4	25/11/1986	géothermie (basse enthalpie)
09908X0331	Montpellier	Antigone	sondage	1200	16/11/1982	géothermie (basse enthalpie)
09907X0388	Montpellier	bagatelle gb 1	sondage	700		géothermie (basse enthalpie)
10156X0008	Pézenas	PEZENAS-1	sondage	738,31	17/02/1949	géothermie (basse enthalpie)
09891X0099	Puech(Le)	forage du moulin, le Puech	sondage	230	14/12/1988	géothermie (basse enthalpie)
09885X0011	Saint-Julien	source Les Horts	source			thermalisme
09876X0201	Salvetat-sur-Agout(la)	la grotte, Rieu-majou	source		01/01/1859	thermalisme
10165X0186	Sète	les métairies gs1	sondage	976	30/06/1983	géothermie (basse enthalpie)
09887X0072	Taussac-la-Billièvre	source petit-vichy	source			thermalisme

Annexe 3 – Garantie AQUAPAC



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



Géosciences pour une Terre durable

brgm



**GARANTIE SUR LA RESSOURCE
EN EAU SOUTERRAINE
A FAIBLE PROFONDEUR
UTILISEE
A DES FINS ENERGETIQUES**

Les nappes d'eau souterraines de faible profondeur
recèlent un potentiel énergétique utilisable grâce aux pompes à chaleur.

Cependant, il peut exister une incertitude sur les conditions d'utilisation de la ressource
naturelle qui dépend des caractéristiques géologiques locales.

La garantie **AQUAPAC**[®], créée par l'**ADEME**, le **BRGM**, et **EDF** prend en charge la
couverture financière de ce risque géologique,

Gestion administrative et financière du système de garantie :

SAF-ENVIRONNEMENT
195, Boulevard Saint Germain
75007 PARIS
Tél. : 01 58 50 76 76
Fax : 01 58 50 06 80

Herve.raimbault@caissedesdepots.fr

AQUAPAC est une assurance qui couvre les risques **géologiques** liés à la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère située en général à **moins de 100 m de profondeur**, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique en faveur des installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique **supérieure à 30 KW**. C'est donc une double garantie, dont les deux aspects sont indissociables :

- **La garantie de recherche** couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour le fonctionnement des installations tel qu'il avait été prévu,

- **La garantie de pérennité** couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation.

AQUAPAC assure pendant 10 ans les investissements réalisés pour le captage et le transfert de la ressource jusqu'à l'échangeur eau-eau et sa réinjection.

La garantie ne concerne pas les éventuels incidents de chantier, ni les conséquences des défauts de conception, de réalisation ou de maintenance.

Le Maître d'Ouvrage conserve l'entière responsabilité du respect de la réglementation, du choix des bureaux d'études ou entreprises, et de la réalisation de l'opération.

En aucun cas, **AQUAPAC** n'a pour objet de se substituer aux polices d'assurances dommage-ouvrage ou de responsabilité décennale au titre desquelles les opérateurs doivent normalement être couverts.

BENEFICIAIRES DE LA GARANTIE AQUAPAC

Les Maîtres d'ouvrages ou leurs mandataires (bureaux d'études, entreprises, prestataires de services, exploitants) désireux de se prémunir vis-à-vis des aléas géologiques liés à l'utilisation énergétique de l'eau souterraine à des fins de **chauffage** et/ou de **climatisation** peuvent souscrire la garantie **AQUAPAC**.

Cette garantie s'applique à tous les secteurs économiques: habitat, tertiaire, industriel ou agricole, qu'il s'agisse de bâtiments neufs ou existants, et quelle que soit la puissance de l'installation thermique.

ATTRIBUTION DE LA GARANTIE

Un Comité composé des représentants de l'ADEME, du BRGM, et d'EDF, assisté de la SAF-Environnement, décide de l'attribution, ou non, de la garantie, après examen d'un dossier que le requérant aura déposé auprès de la Saf-Environnement.

Ce dossier, dont un modèle peut être demandé auprès de la Saf-Environnement doit comprendre :

- **L'identification** de l'opération concernée, sa localisation et ses différents acteurs,

- **Une fiche descriptive** des besoins thermiques, et du mode d'évaluation des besoins en eau,

- **Une étude de faisabilité du projet** comportant une évaluation des contraintes réglementaires et environnementales, les caractéristiques de la ressource, le mode de captage et de réinjection, les essais et mesures hydrogéologiques prévus, la description de l'installation et des ouvrages de sous-sol et de surface,

- **les éléments économiques** comprenant les coûts prévisionnels d'investissement et de fonctionnement : études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, échangeur, PAC,

- **Le montant des investissements** pour lesquels la garantie est demandée, qui devra être clairement établi.

Si l'avis du Comité **AQUAPAC** est favorable, un contrat est alors signé entre la SAF et le Maître d'Ouvrage qui verse **en une seule fois, et au moment de la souscription de chaque garantie**, les cotisations et commissions forfaitaires suivantes :

- *Pour la garantie de recherche :*

- une cotisation égale à **5%** du montant des ouvrages garantis en recherche,

- *Pour la garantie de pérennité :*

- une cotisation égale à **4%** du montant des ouvrages garantis en pérennité,

FONCTIONNEMENT DE LA GARANTIE

Garantie de recherche

Risques couverts

Le risque couvert est celui de l'échec quant à la découverte du débit d'eau maximal de production fixé dans le contrat de garantie comme suffisant au fonctionnement correct des installations, à partir des éléments techniques fournis.

Le risque couvert est aussi celui de l'échec quant à la possibilité de réinjection du débit.

Montant garanti en recherche

Le montant garanti en recherche, fixé dans le contrat, est égal au coût réel des études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, désignés dans la demande de recherche, (plafonné au montant prévisionnel), déduction faite des subventions reçues.

Lorsque plusieurs forages sont prévus, le contrat est établi pour le premier, et étendu par avenant au suivant après chaque constat de succès.

Fonctionnement de la garantie

La garantie prend effet dès la signature du contrat et le versement des primes de la garantie de recherche.

Le Maître d'Ouvrage peut alors faire réaliser les travaux de forage.

Il doit informer la Saf-Environnement de la date des essais et de la date de réception des ouvrages.

La capacité des ouvrages est mesurée à la fin des travaux, et le rapport de fin de forage avec les résultats des essais hydrogéologiques doit être envoyé à la Saf-Environnement

Evaluation du résultat du forage

Suivant la valeur du débit mesuré au cours des essais, il y aura succès, échec partiel ou échec total :

- *Succès* : le débit trouvé est supérieur ou égal au débit contractuel ;
- *Echec total* : le débit trouvé est inférieur à la moitié du débit contractuel ;
- *Echec partiel* : le débit trouvé est compris entre ces deux valeurs.

En cas de succès le demandeur reçoit alors l'appel de cotisation pour la garantie de pérennité, qui est accordée pour dix ans à partir de la date de réception du paiement de la cotisation correspondante.

Calcul de l'indemnité « recherche »

En cas d'échec total, le Comité AQUAPAC déclenche le versement de l'indemnité, égale au montant garanti.

En cas d'échec partiel, le Maître d'ouvrage peut néanmoins exploiter la ressource en son état et bénéficier alors de la garantie de pérennité :

- la nouvelle valeur du débit exploitable est définie par un avenant au contrat de garantie ;
- le montant de l'indemnité est alors proportionnel au déficit en eau sur le débit garanti initial

Garantie de pérennité

Risques couverts :

Sous réserve d'un entretien correct des ouvrages et des équipements d'exploitation, attesté par un carnet de maintenance ou des factures de prestations de services, la garantie de pérennité couvre les risques suivants :

- a) *diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* au-dessous de la valeur garantie :
 - *sinistre partiel* : le débit diminue et atteint une valeur comprise entre la valeur garantie et la moitié de cette valeur.
 - *sinistre total* : le débit atteint une valeur inférieure à la moitié du débit de garantie

b) *dommages* aux matériels de puisage et de réinjection et/ou aux équipements du circuit primaire, y compris l'échangeur, occasionnés par des changements survenus dans les caractéristiques de la ressource dus à des causes naturelles ou de voisinage.

Durée de la Garantie

La garantie est accordée pour une période de **10 ans** à partir de la date effective de mise en service.

Elle peut être différée en cas de forage d'essai. Si ce délai dépasse 6 mois, un nouvel essai de pompage devra être effectué.

Montant garanti en pérennité

Le montant garanti, fixé par contrat, est égal au coût de l'ensemble des ouvrages primaires neufs : forages, pompes, matériels de surface, y compris l'échangeur eau-eau. Ces coûts s'entendent toutes subventions déduites.

Pour tenir compte de l'amortissement de l'installation, ce montant garanti diminue de 5 % par semestre écoulé.

En cas d'échec total, le coût prévisionnel des travaux nécessaires à la restauration fonctionnelle de l'installation, peut être également garanti.

Calcul de l'indemnité « pérennité »

L'assiette A de l'indemnisation est calculée ainsi :

a) *Diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* :

- en cas de sinistre partiel, A = la fraction du montant garanti proportionnelle au déficit en eau,
- en cas de sinistre total, A = montant garanti

b) *Dommages* :

- en cas de poursuite de l'exploitation, A = coût réel des travaux de remise en état, plafonné au montant garanti,
- en cas d'abandon de l'exploitation, A = montant garanti.

Fonctionnement de la garantie

En cas de constat de modification des caractéristiques de la ressource de nature à perturber l'exploitation, le maître d'ouvrage ou l'exploitant adresse une déclaration de sinistre à la Saf-Environnement.

Des essais hydrogéologiques peuvent alors être réalisés par le maître d'ouvrage, en accord avec le Comité qui pourra mandater un expert.

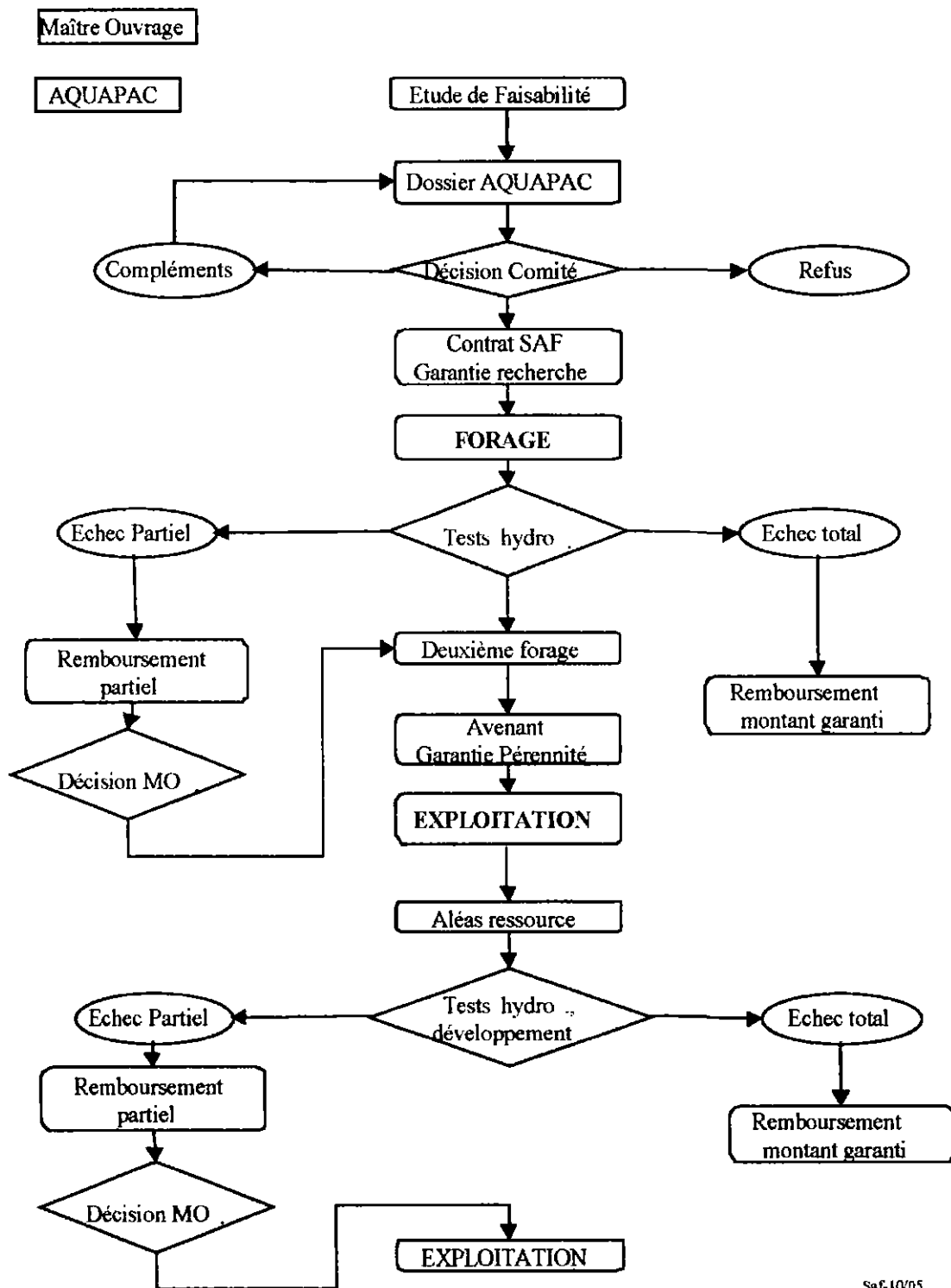
Ensuite, le Comité apprécie la recevabilité du sinistre et déclenche, s'il y a lieu, le paiement des indemnités.

Le Comité se réserve toutefois la possibilité en lieu d'indemnisation de restaurer le forage ou l'installation

PLAFOND

Les indemnisations sont plafonnées à **115 000 Euros** par sinistre.

Procédure AQUAPAC



SaF-10/05

4

Annexe 4 – Carte des réservoirs superficiels (planche hors-texte – éch. 1/100 000)

Annexe 5 – Carte des réservoirs à moyenne profondeur (planche hors-texte – éch. 1/100 000)

Annexe 6 – Données numériques (cédérom)

Contenu du cédérom
Texte et annexes cartographiques du rapport (documents pdf).
Atlas géothermique (document HTML : lancer index.htm)



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 - 45060 Orléans Cédex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Languedoc-Roussillon
1039, rue de Pinville
34000 Montpellier - France
Tél. : 04 67 15 79 80



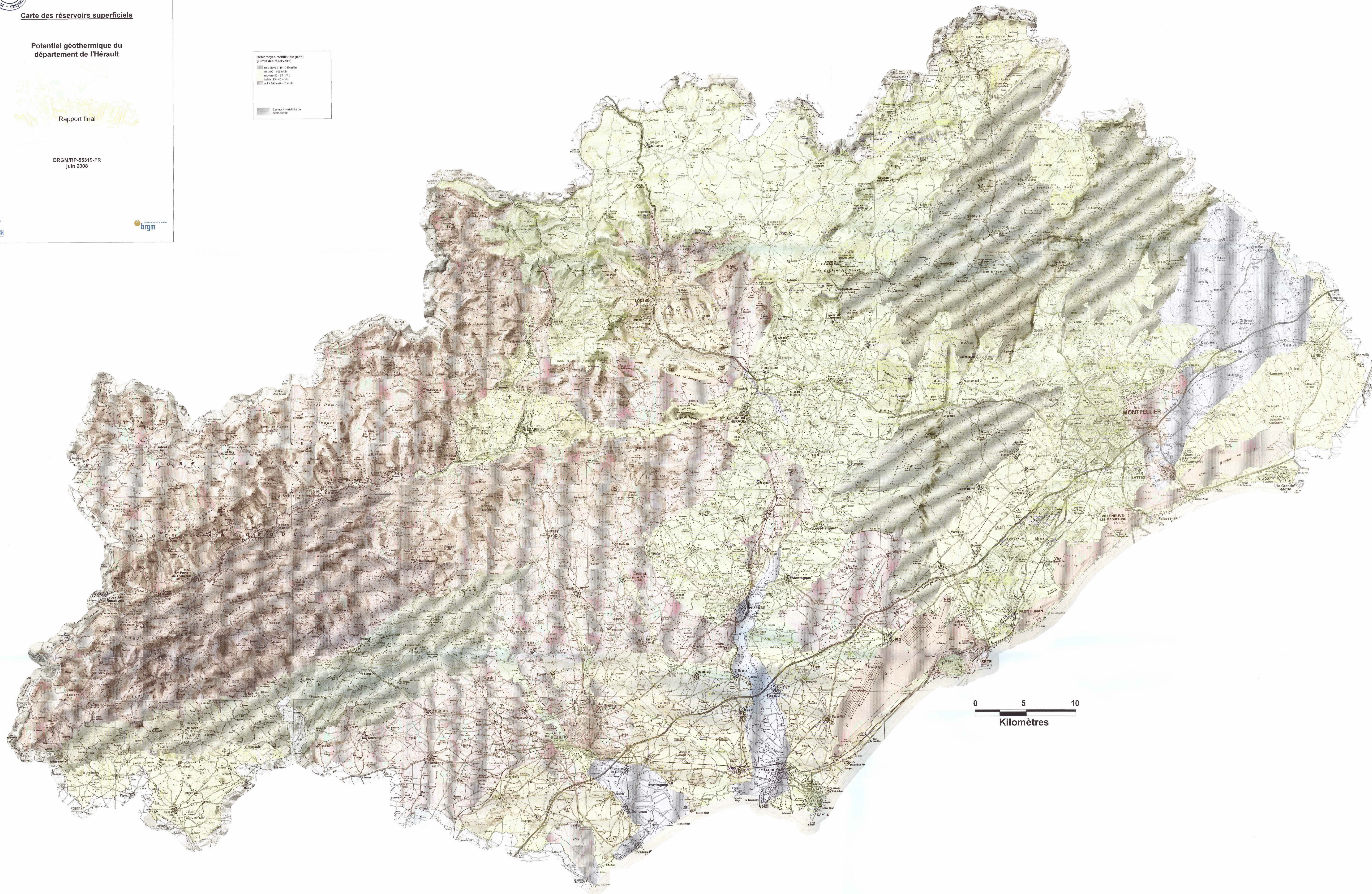
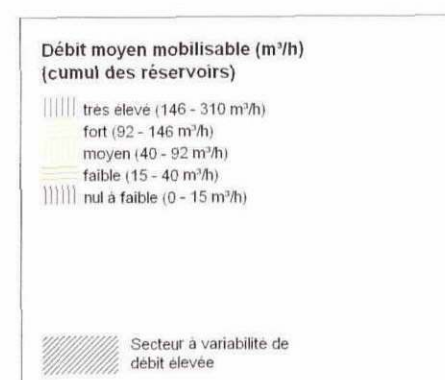
annexe 4

Carte des réservoirs superficiels

Potentiel géothermique du
département de l'Hérault

Rapport final

BRGM/RP-55319-FR
juin 2008



0 5 10
Kilomètres

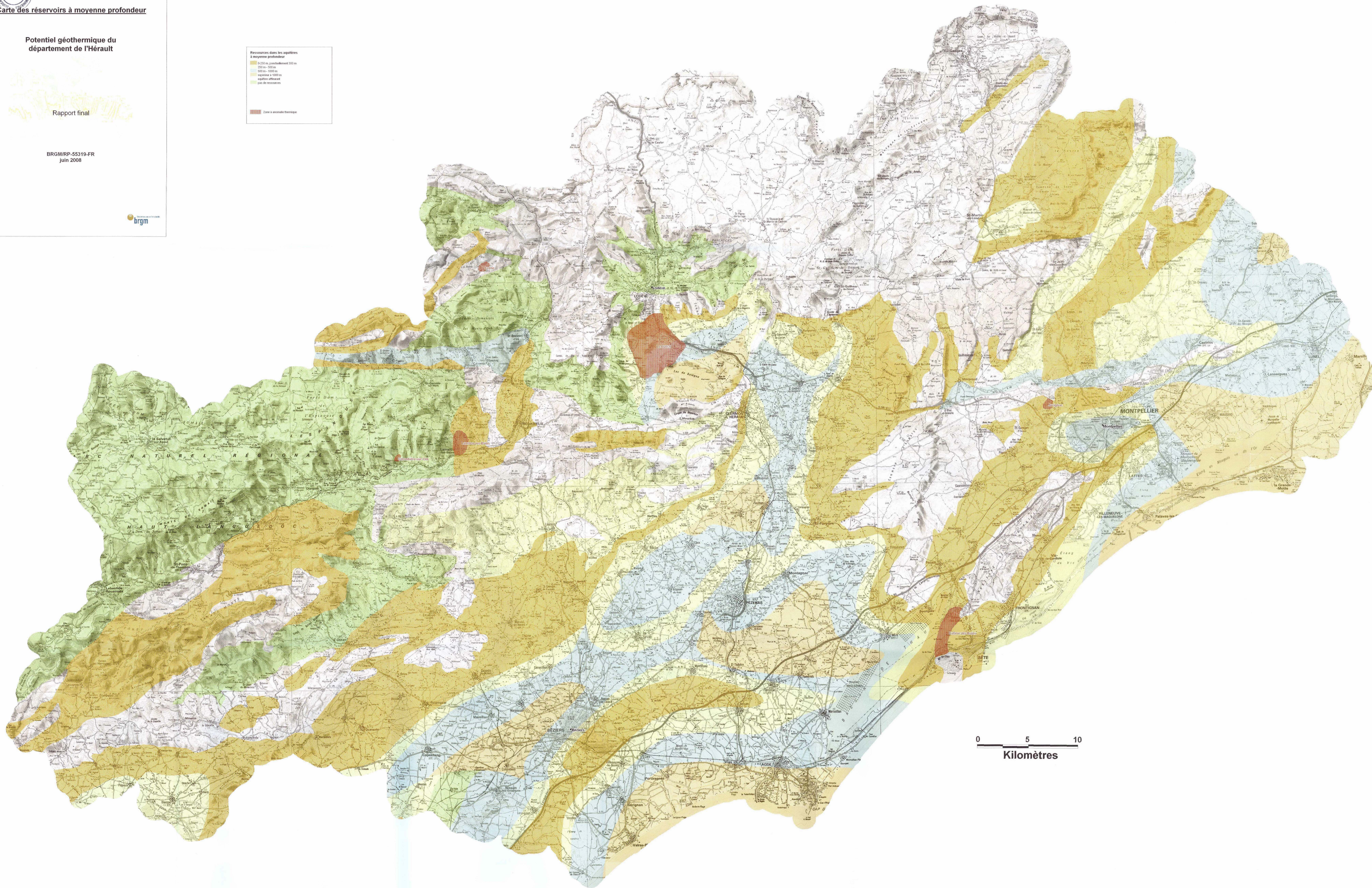
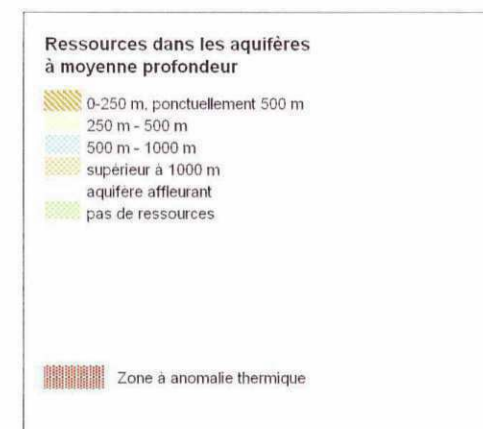


Carte des réservoirs à moyenne profondeur

Potentiel géothermique du
département de l'Hérault

Rapport final

BRGM/RP-55319-FR
juin 2008



0 5 10
Kilomètres