

Document public

Méthodologie de l'inventaire du potentiel géothermique des Limagnes : projet COPGEN

Rapport d'avancement

BRGM/RP-52643-FR

août 2003

ADEME



Méthodologie de l'inventaire du potentiel géothermique des Limagnes : projet COPGEN

Rapport d'avancement

BRGM/RP-52643-FR
août 2003

Étude réalisée dans le cadre de la convention
de recherche n°05 02 037 établie
entre l'ADEME et le BRGM

A. Genter

Avec la collaboration de

**D. Giot, N. Lieutenant, P. Nehlig, Ph. Rocher, J.Y. Roig,
Ph. Chevremont, L. Guillou-Frottier, G. Martelet, A. Bitri, J. Perrin,
O. Serrano, N. Courtois, Ph. Vigouroux, Ph. Negrel, H. Serra,
E. Petelet-Giraud, M. Brach, Ph. Calcagno, G. Courrioux, O. Goyeneche**



Mots clés : Géothermie, Inventaire des ressources, Géologie, Sources thermales, Fluides, Géophysique, Hydrogéologie, Besoins en énergie, Limagnes

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

Genter A., avec la collaboration de Giot D., Lieutenant N., Nehlig P., Rocher Ph., Roig J.Y., Chevremont Ph., Guillou-Frottier L., Martelet G., Bitri A., Perrin J., Serrano O., Courtois N., Vigouroux Ph., Negrel Ph., Serra H., Petelet-Giraud E., Brach M., Calcagno Ph., Courrioux G., Goyeneche O. (2003) - Méthodologie de l'inventaire du potentiel géothermique des Limagnes : projet COPGEN. Rapport d'avancement. BRGM/RP-52643-FR, 31 p., 9 fig.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre d'une politique de relance des énergies renouvelables sur le territoire métropolitain, l'ADEME et le BRGM ont mis en place un projet méthodologique d'inventaire de la ressource géothermale au travers de la convention de recherche n° 05 02 037 signée le 29 octobre 2002. Ce projet qualifié COPGEN (Compilation du Potentiel Géothermique National) s'est focalisé sur la zone des Limagnes, qui correspond géologiquement à un bassin tertiaire situé sur la bordure nord du Massif central.

Ce rapport d'avancement représente la synthèse des travaux réalisés depuis le début du projet. La phase de compilation est achevée et fait l'objet de quatre rapports séparés en géologie, géochimie, géophysique et système d'information géographique. Les enseignements majeurs de ces travaux sont présentés succinctement dans ce rapport.

Au niveau des travaux en cours de réalisation, l'interprétation de 26 lignes sismiques dans le bassin de la Limagne d'Allier est en cours d'analyse. Cette interprétation en termes d'interfaces géologiques des réflecteurs sismiques et des failles qui compartiment le bassin, servira de support à la modélisation 3D des réservoirs géothermiques potentiels. Parallèlement, une campagne d'échantillonnage des fluides d'une dizaine de sources thermominérales de la Limagne d'Allier a également été réalisée. Les analyses chimiques de ces fluides sont en cours de réalisation.

Enfin, la phase d'analyse des besoins en énergie qui s'appuie sur une consultation des acteurs socio-économiques de la région de Clermont-Ferrand a également démarré.

Sommaire

1. Introduction générale	7
2. Compilation géoscientifique	9
2.1. Apport de la géologie de bassin	9
2.2. Apport de la thermique	11
2.3. Apport de la géophysique.....	13
2.4. Apport de l'hydrogéologie.....	15
2.5. Apport de la géochimie des fluides	16
2.6. Apport du Système d'Information Géographique	19
2.7. Apport de la phase de compilation	19
3. Les travaux en cours	21
3.1. Caractérisation des fluides	21
3.2. Réinterprétation de la sismique.....	22
3.3. Modélisation 3D.....	22
4. Inventaire des besoins en énergie	25
4.1. Introduction.....	25
4.2. Les rencontres.....	25
4.3. Conclusion et suites à donner	26
5. Autres actions	27

Conclusion	29
Références	31

Liste des figures

Fig. 1 - Report sur fond géologique de la position des forages dans les bassins de Limagnes de Clermont et de Roanne. La zone d'étude focalisée sur la Limagne d'Allier correspond au rectangle noir.....	8
Fig. 2 - Coupe géologique située au sud du bassin de Moulins, notée C4.....	10
Fig. 3 - Isothermes aux profondeurs de 500 m, 1 000 m et 1 500 m reportées sur un fond géologique simplifié.	12
Fig. 4 - Localisation des profils des 4 campagnes de sismique pétrolière dans la zone Clermont-Riom-Gannat. En jaune l'extension du bassin.	14
Fig. 5 - Carte de localisation simplifiée des sources regroupées dans 14 secteurs géographiques.	17
Fig. 6 - Diagramme de Piper des données dont la balance ionique est comprise entre -5 et +5 %.	18
Fig. 7 - Carte de localisation des sources en Limagne d'Allier (rectangle noir) reportée sur la géologie.	21
Fig. 8 - Exemple de section sismique E-W de 1979 en Limagne d'Allier. En jaune, le toit de l'Éocène et en rouge celui du Rupélien (Oligocène). Noter la forte compartimentation par failles.	22
Fig. 9 - Exemple de carte extraite de Seisvision montrant le toit de l'isobathe de l'Eocène en Limagne d'Allier. En jaune, les profondeurs faibles (400 m), en violet, les profondeurs fortes (1 100 m).	23

1. Introduction générale

Dans le cadre d'une politique de relance des énergies renouvelables sur le territoire métropolitain, l'ADEME et le BRGM ont mis en place un projet méthodologique d'inventaire de la ressource géothermale basse et moyenne énergies au travers de la convention de recherche n° 05 02 037 signée le 29 octobre 2002. Ce projet qualifié COPGEN (**CO**mpilation du **P**otentiel **GÉ**othermique **N**ational) s'est focalisé sur la zone des Limagnes, qui correspond géologiquement à un bassin tertiaire situé sur la bordure nord du Massif central (fig. 1).

Ce projet vise à démontrer comment les connaissances nouvelles acquises durant les deux dernières décennies ainsi que l'évolution des outils d'interprétation géophysique et géochimique et des logiciels de modélisation 3D permettent d'améliorer la connaissance du potentiel géothermique. Ce projet vise donc à délimiter les zones qui apparaissent *a priori* les plus favorables pour l'implantation de forages géothermiques de basse et moyenne température, en croisant la ressource potentielle et les besoins. Il s'agit d'une phase de reconnaissance préalable à la sélection de zones qui seraient ultérieurement reconnues de façon plus approfondie.

Ce rapport, qui correspond au rapport d'avancement du projet à mi-parcours, s'organise en trois parties :

- Une première partie qui présente la synthèse de trois rapports (Genter *et al.*, 2003 ; Lieutenant, 2003 ; Martelet *et al.*, 2003 ; Serra *et al.*, 2003) qui rassemble les résultats de la phase de compilation des données du sous-sol et/ou les connaissances disponibles dans les différents domaines géoscientifiques, à savoir la géologie de surface et en forage, la géophysique d'infrastructure (gravimétrie-magnétisme) et la géophysique pétrolière (sismique), la thermique, l'hydrogéologie, et les connaissances sur la nature des fluides (sources thermales). Un quatrième rapport qui traite de la mise en place du système d'information géographique (SIG) est également résumé dans cette première partie (Lieutenant, 2003).
- Une seconde partie, très succincte, qui résume les travaux en cours à savoir l'échantillonnage réalisé pour le prélèvement de fluides sur une dizaine de sources thermominérales de la Limagne d'Allier de manière à acquérir des données géochimiques nouvelles dans ce bassin (composition, chimie isotopique). De plus, les premiers enseignements et travaux réalisés pour la préparation du modèle 3D d'une partie de la Limagne d'Allier ainsi que le travail en cours sur l'interprétation des profils sismiques sont résumés.
- Enfin, une troisième partie qui concerne les aspects socio-économiques et les premiers résultats sur les prises de contact réalisées auprès des acteurs économiques de la région Auvergne et du département du Puy-de-Dôme.

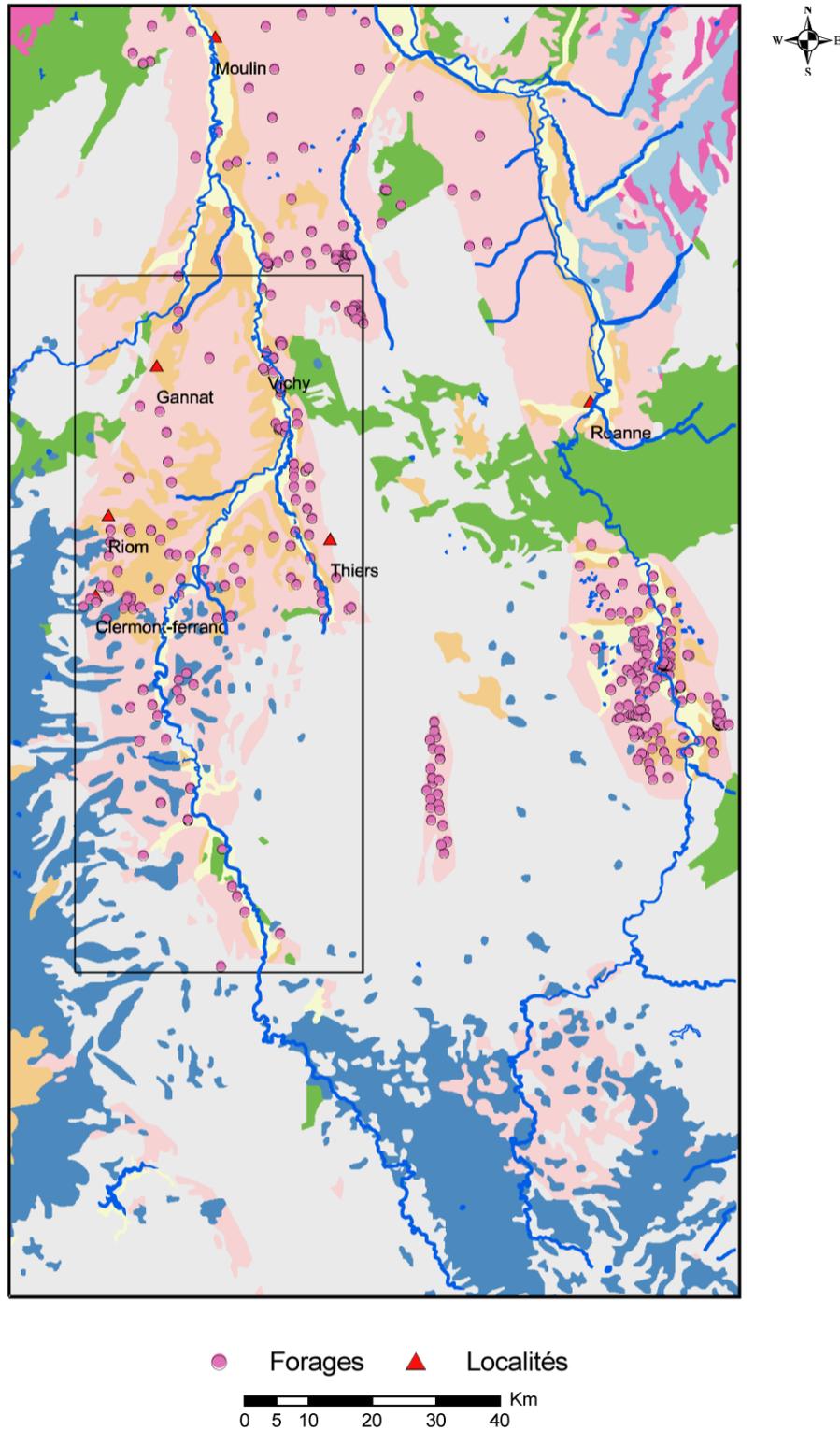


Fig. 1 - Report sur fond géologique de la position des forages dans les bassins de Limagnes de Clermont et de Roanne. La zone d'étude focalisée sur la Limagne d'Allier correspond au rectangle noir. En rose, les bassins tertiaires et en bleu, le volcanisme tertiaire à quaternaire

2. Compilation géoscientifique

Les rapports Genter *et al.* (2003), Martelet *et al.* (2003) et Serra *et al.* (2003) présentent les résultats de la phase de compilation des données du sous-sol et/ou des connaissances disponibles dans les différents domaines géoscientifiques, à savoir la géologie de surface et en forage, la géophysique d'infrastructure (gravimétrie-magnétisme) et la géophysique pétrolière (sismique), la thermique, l'hydrogéologie, et les connaissances sur la nature des fluides (sources thermales). De plus, la mise en place d'un Système d'Information Géographique (SIG), qui rassemble l'ensemble des données synthétisées, est également présentée sous forme succincte puisqu'elle a fait l'objet d'une étude indépendante (Lieutenant, 2003). Seuls, les enseignements majeurs des synthèses sont repris dans ce rapport d'avancement.

La synthèse pluridisciplinaire des données géoscientifiques a été réalisée à deux échelles :

- à l'échelle régionale, avec la compilation et la recherche d'informations principalement géologiques, géophysiques et géochimiques dans une zone élargie, qui correspond géographiquement à l'ensemble des Limagnes et de quelques bassins tertiaires du Massif Central (fig. 1) ;
- à l'échelle locale, avec une synthèse plus focalisée sur la Limagne d'Allier dans laquelle nous avons réalisé une réinterprétation plus fine de la géologie à partir de données de forages anciens (fig. 1).

2.1. APPORT DE LA GÉOLOGIE DE BASSIN

La synthèse géologique a été réalisée sur environ 400 forages, plus ou moins bien documentés, identifiés dans la Banque des données du Sous-Sol (BSS) et dans la littérature pétrolière. En Limagne d'Allier, ces sondages recoupent tout le bassin depuis les formations du Quaternaire jusqu'au socle paléozoïque. Pour les forages où nous disposons d'informations géologiques (rapport technique, coupe géologique, diagraphies), une réinterprétation complète de la lithologie a été réalisée en termes de stratigraphie séquentielle. Ce type d'analyse permet d'individualiser des zones à lithologie variée (sables, argiles sableuses, carbonates, évaporites) dont la composition et la texture confèrent au milieu géologique des propriétés pétrophysiques (porosité) ayant un intérêt potentiel en terme de réservoir géothermique (perméabilité). L'étude de la Limagne d'Allier a montré que la succession des faciès s'ordonne en cinq séquences lithostratigraphiques. Les sommets de séquence sont codés spécifiquement (S1 à S5) ainsi que le toit du socle (S0). Chacune de ces séquences développe de la base vers le sommet : un terme détritique sableux et sablo-argileux bariolé ou vert, un terme intermédiaire mixte sablo-argileux et carbonaté, puis un terme sommital carbonaté, parfois évaporitique. Une base de données sur les forages a donc été construite et codifiée selon l'organisation des lithofaciès retenus.

Bien que le nombre de forages ayant atteint le socle soit relativement limité, des structures majeures s'individualisent. La Limagne d'Allier se décompose en deux bassins distincts : le bassin de Moulins au nord, orienté NE-SW et le bassin de Clermont au sud, orienté N-S puis NE-SW. Le bassin de Moulins montre une asymétrie

avec une subsidence maximale à l'est et au sud. L'inverse s'observe dans le bassin de Clermont, l'affaissement maximum s'enregistre à l'ouest et une fosse très profonde est générée au niveau de Clermont et Riom (fig. 2). Un seuil sépare les deux bassins, au nord de la faille d'Aigueperse et selon un tracé parallèle à celle-ci. Les profondeurs maximales certifiées par forage sont de l'ordre de 1 000 m pour le bassin de Moulins et de 2 000 m pour le bassin de Clermont. Les corps détritiques liés à la séquence S1 sont présents de façon systématique en partie profonde des bassins. L'analyse de la répartition du corps détritique S1, le plus profond, montre une répartition particulière, fortement influencée par les failles. Le pied de la faille d'Aigueperse est bien marqué par un cône détritique. Dans la fosse de Clermont, les accumulations sont importantes en fond de fosse, là aussi en liaison probable avec les failles proches. La zone de Riom n'est pas renseignée. Au nord-est, le bassin de Moulins possède des horizons détritiques importants tant en épaisseur qu'en extension pour les trois séquences inférieures. Ces horizons sont séparés les uns des autres par des intercalaires argilo-carbonatés. La profondeur maximale du bassin est de 1 000 m. Au sud, le bassin de Clermont est très fortement accidenté et la zone profonde se réduit à une ou plusieurs fosses étroites axées sur Clermont et Riom. Les corps détritiques appartiennent aux séquences 1 et 2 et sont directement superposés sans intercalaire marneux, constituant ainsi un réservoir géothermique potentiel très épais (4 à 500 m). Les profondeurs atteintes sont de 1 880 m au forage Croix-Neyrat.

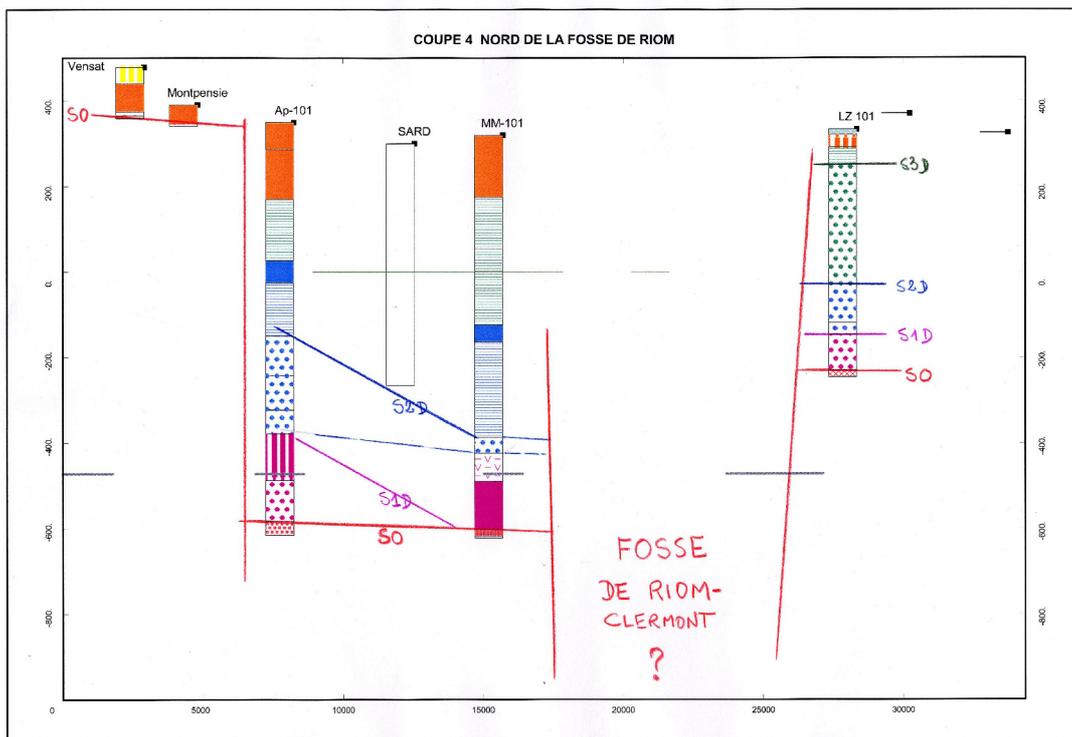


Fig. 2 - Coupe géologique située au sud du bassin de Moulins, notée C4.

Le traitement et l'interprétation des profils sismiques d'origine pétrolière, sur la zone clermontoise est en cours. La compilation des données de forage et des principaux horizons marqueurs sismiques devrait apporter des précisions sur la géométrie de l'ensemble détritique inférieur et surtout sur la géométrie des failles encadrant la fosse.

Les surfaces des corps sédimentaires serviront de support à la construction du modèle géométrique 3D.

2.2. APPORT DE LA THERMIQUE

La synthèse bibliographique sur les données thermiques de la Limagne d'Allier et de sa périphérie a permis de faire le point sur les données de température et de flux de chaleur en profondeur connues dans cette région. Un rapport indépendant a été réalisé et l'ensemble de la synthèse est rassemblé dans Martelet *et al.* (2003). Cependant, les points majeurs de l'état des connaissances sur le régime thermique de la région étudiée sont résumés dans ce rapport. En Limagne d'Allier, les principaux réservoirs intéressants sont situés dans des formations détritiques arkosiques de bordures de bassin. Les données thermiques sont issues de deux origines distinctes, d'une part une base de données internationale ou *International Heat Flow Commission* et d'autre part une synthèse géothermique de la France. Plus ponctuellement, des données de température liées à des forages géothermiques réalisés dans les années 80, ont été retrouvées comme celles du forage Les Vergnes 1 ou Croix-Neyrat situé à proximité de Riom et celui de Beaumont situé dans la banlieue de Clermont-Ferrand. Ces données montrent que le gradient géothermique dans cette région est voisin de 60 °C/km, ce qui est presque le double du gradient géothermique moyen dans le Bassin parisien. Le flux de chaleur montre également des fortes valeurs, d'environ 120 mW/m², ce qui est également le double de la moyenne pour un bassin type bassin de Paris.

La carte des températures à 500 m montre des isothermes allongées selon un axe N20°E, avec une isotherme maximale de 40 °C localisée sur la bordure ouest du fossé, entre Riom au sud et Saint-Pourçain-sur-Sioule au nord (fig. 3). Les valeurs de température les plus élevées (supérieures à 40 °C) sont localisées au nord de la zone, en accord avec le tracé des isothermes. La carte des températures à 1 000 m montre également des isothermes allongées selon un axe N20°E, avec une isotherme maximale de 80 °C localisée au nord-est de Gannat, c'est-à-dire plus interne au bassin (fig. 3). Nous observons un décalage sud-est par rapport à l'isotherme maximale à 500 m de profondeur. La carte des températures à 1 500 m montre des isothermes allongées selon un axe N35°E. Cette modification de l'axe d'allongement peut être causée par l'influence de la faille d'Aigueperse orientée NE-SW. Par rapport aux isothermes maximales à 500 m et 1 000 m, l'isotherme 105 °C à 1 500 m est décalée vers le centre du bassin à l'est de Riom (fig. 3).

Deux forages géothermiques ont été réalisés dans les années 80 en Limagne d'Allier par la compagnie Géotherma : un forage dans la proche banlieue de Clermont, forage de Beaumont et un forage à proximité de Riom, forage de Les Vergnes dit Croix-Neyrat. Au niveau des températures, le forage de Beaumont a donné une température fond de trou de 44,6 °C à 1 335 m de profondeur. Celui de Les Vergnes a donné une température de 107 °C à 1 886 m. Compte tenu des productivités faibles, aucun de ces forages n'a donné lieu à une exploitation géothermique.

Pour conclure sur les données thermiques, nous avons peu d'informations sur leur origine, ainsi que sur les méthodes d'interpolation appliquées pour le calcul des isothermes. L'allure générale des isothermes est toujours la même, c'est-à-dire parallèle au bassin, bien que les données soient distribuées de manière hétérogène. En revanche, la position du maximum évolue spatialement du nord-est vers le sud. La

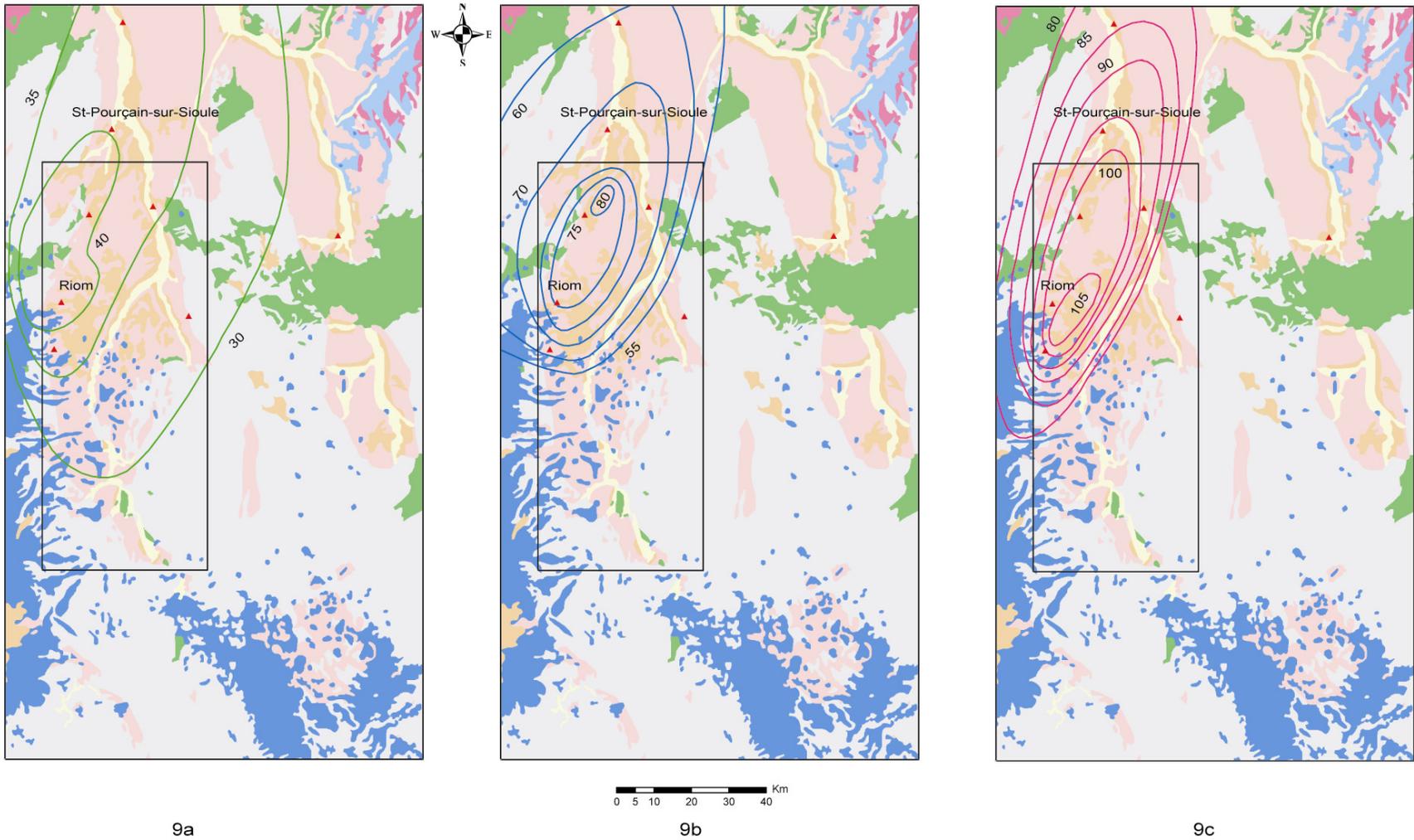


Fig. 3 - Isothermes aux profondeurs de 500 m, 1 000 m et 1 500 m reportées sur un fond géologique simplifié.

zone la plus chaude correspond à des températures de 100 °C à 1 500 m de profondeur sur un axe Aigueperse - Clermont-Ferrand.

2.3. APPORT DE LA GÉOPHYSIQUE

La synthèse géophysique a permis de faire le point sur les données géophysiques diverses acquises (sismique, magnétisme, gravimétrie, méthodes électriques, magnétotellurique, du bruit sismique, données en forage...) et leurs interprétations, dans la région des Limagnes et à sa périphérie. Ce travail a été réalisé en vue de montrer l'apport des différentes méthodes pour la mise en évidence de zones à potentiel géothermique. L'accent a également été mis sur l'intérêt des différentes méthodes pour la caractérisation en profondeur des corps géologiques, du point de vue géométrique, mais aussi en ce qui concerne leurs propriétés physiques. Un rapport indépendant (Martelet *et al.*, 2003) a été réalisé qui regroupe et développe les éléments géophysiques de cette synthèse en y incluant les aspects thermiques. Dans la mesure où COPGEN devait permettre la mise au point d'une méthodologie d'inventaire du potentiel géothermique basse et moyenne énergie sans acquisition importante de données, ce premier travail a consisté à inventorier les données et la bibliographie disponibles, les réunir et effectuer les retraitements qui s'avéraient nécessaires.

Les données géophysiques prises en compte lors de la phase de compilation sont :

- Les données de sismique pétrolière qui permettent, à partir des réflecteurs interprétés, d'établir une trame structurale et géologique. Trois grandes campagnes de sismique pétrolière et une campagne Cogema, qui reste assez mal connue car inédite, couvrent une part importante de la Limagne d'Allier (fig. 4). Ces campagnes permettent une imagerie qui s'étend depuis la sub-surface jusqu'au toit du socle. Ces campagnes anciennes ont montré une forte dissymétrie E-W du bassin d'Allier.
- Les données de champs de potentiels (gravimétrie et magnétisme aéroporté) qui devront permettre, par des approches indirectes, inverses ou de modélisation directe, d'appréhender les grands traits de la structuration du bâti géologique. Pour qu'elles prennent tout leur intérêt, ces méthodes doivent être contraintes par la sismique et par des mesures de densité et de susceptibilité. La carte d'anomalie de Bouguer résiduelle, couvrant la zone d'emprise du projet, reflète l'ensemble des contrastes de densité qui existe sous la surface topographique. Cette carte gravimétrique apparaît très cohérente avec la géologie : les anomalies négatives sont associées aux bassins et aux granites, les anomalies positives se localisent à l'aplomb des unités de socle et volcaniques. À partir des données aéromagnétiques, dans la zone de Clermont-Riom, des anomalies locales de faible amplitude sont visibles. Elles reflètent sans doute la présence de matériel volcanique intercalé dans le bassin. Plus au nord, entre Vichy et Moulins, on observe de fortes anomalies certainement associées à la nature magnétique du socle sous le bassin.
- Des données d'origines diverses (méthodes électriques/électromagnétiques, méthode du bruit sismique...) qui représentent des études locales mais que l'on ne doit pas négliger dans la mesure où elles permettent notamment de localiser en profondeur des zones de faille associées à des circulations de fluides. En Limagne, dans la zone de Clermont-Riom, les résultats de sondages électriques et de l'étude du bruit sismique ont été combinés. On a ainsi mis en évidence au nord-est de Riom, une concordance entre conductivité et bruit sismique accru. Cette zone est

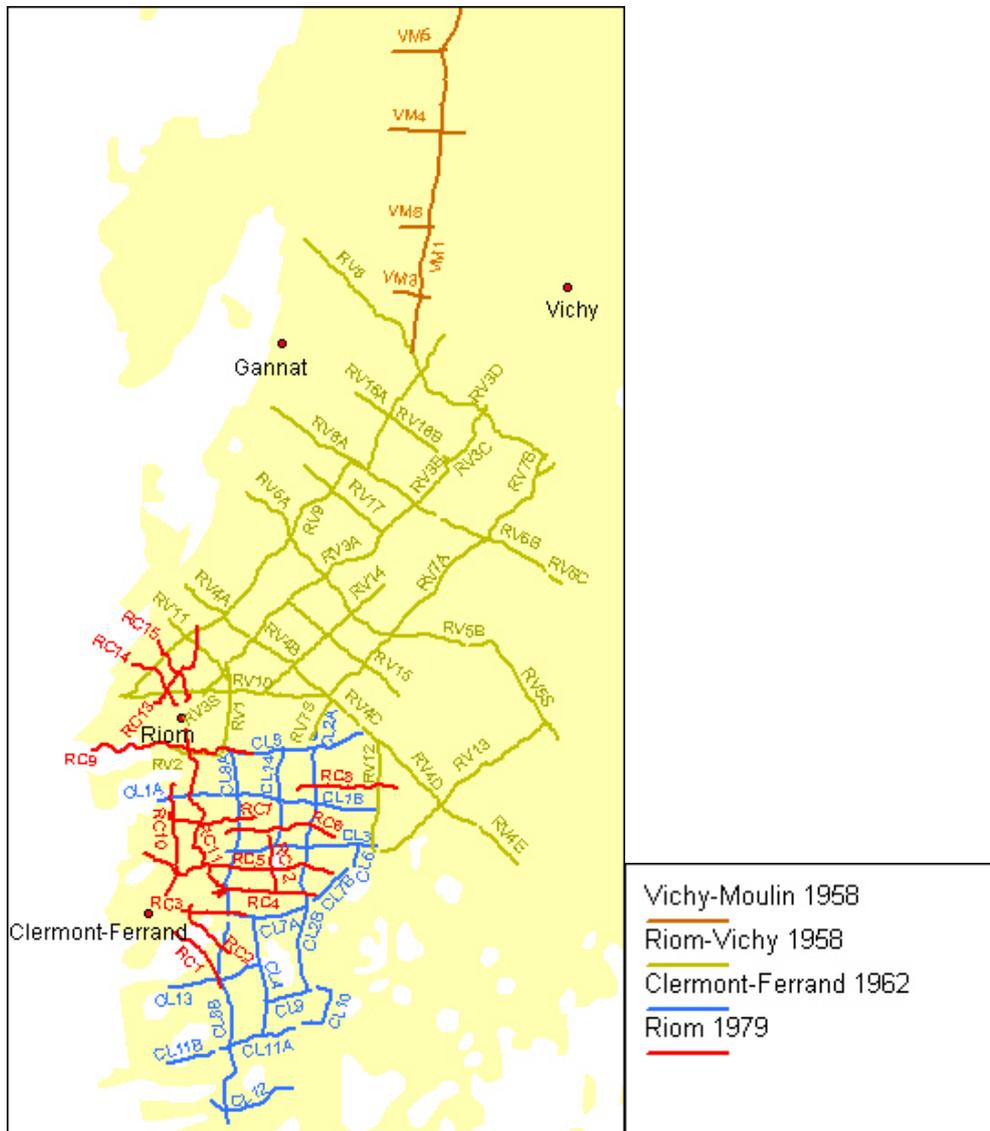


Fig. 4 - Localisation des profils des 4 campagnes de sismique pétrolière dans la zone Clermont-Riom-Gannat. En jaune l'extension du bassin.

par ailleurs localisée sur un accident (comme les autres zones de fort bruit sismique d'ailleurs), ce qui permet, au moins localement, de présager des effets de circulations profondes de fluides à la faveur d'accidents géologiques.

- Des données de forage : paramètres physiques des roches à partir de diagraphies ou de mesures sur carottes, essais de pompage permettant d'évaluer la qualité des réservoirs *in situ*. De manière générale, les niveaux détritiques du Stampien constituent les principaux horizons réservoirs visés jusqu'à présent. Les porosités qui y ont été observées sont souvent significatives (jusqu'à 25-30 %). En revanche, les perméabilités sont généralement médiocres, de l'ordre du milliDarcy, atteignant exceptionnellement plusieurs dizaines de milliDarcy.

2.4. APPORT DE L'HYDROGÉOLOGIE

L'hydrogéologie des Limagnes est assez largement contrôlée par la géométrie des grands accidents structuraux. L'hétérogénéité verticale et latérale du remplissage sédimentaire des Limagnes (variations latérales de faciès entre la bordure et le centre du bassin, variations de puissance), associée avec les jeux de horsts et grabens qui ont affecté le Massif Central à la fin du Miocène, sont deux éléments majeurs qui engendrent des aquifères de type discontinu. Ces aquifères sont donc par essence difficiles à caractériser, car les extrapolations sont hasardeuses, et ce niveau de risque n'a pas encouragé les investigations. De plus, il y a encore à l'heure actuelle une grande méconnaissance de la structure profonde des Limagnes.

Les séquences sédimentaires telles que sables, grès, calcaires, conglomérats, constituent des réservoirs aquifères potentiels. Comme les formations sédimentaires sont souvent de type lagunaire, cela se traduit par des petites lentilles aquifères plus ou moins connectées entre elles ou prisonnières de niveaux plus imperméables, et sans réel potentiel. La mixité des faciès (calcaires marneux, sables argileux...) peut aussi jouer sur les porosités et les perméabilités. La structure et la nature des aquifères jouent donc un rôle important dans leur potentialité.

Les principaux réservoirs intéressants pour les objectifs géothermiques sont, *a priori*, situés dans des formations détritiques arkosiques situées en profondeur, en bordure de bassin, en relation avec les failles (faille d'Aigueperse en particulier) qui affectent le socle cristallin et permettent les remontées d'eaux chaudes.

L'analyse bibliographique a également montré qu'il existe assez peu de documents précis sur les réservoirs potentiels des Limagnes. Les études et ouvrages concernent en majorité le réservoir sédimentaire du Stampien détritique. Sa variabilité tant horizontale que verticale, de faciès, d'épaisseurs, induit une réelle difficulté pour extrapoler des résultats. Les zones les plus favorables *a priori* sont situées en bordures du bassin, dans les zones arkosiques proches du contact avec les failles du socle.

Les fractures en distension des formations du socle constituent, elles aussi, à la fois des réservoirs potentiels et des vecteurs de remontées d'eaux chaudes. De nombreuses sources thermominérales sont ainsi positionnées au pied de la faille bordière occidentale de la Limagne d'Allier.

Au niveau de la prospection des réservoirs géothermiques, les formations détritiques du Stampien inférieur ont fait l'objet de travaux de reconnaissance par forage dans les années 80 en Limagne d'Allier (Beaumont, Croix-Neyrat) pour le chauffage de logements.

Le forage de Beaumont 1 à Clermont-Ferrand, profond de 1 335 m, a montré une faible température au fond de l'ordre de 44 °C. Le débit instantané a été de 26 m³/h lors du premier essai, puis le deuxième essai a conduit à estimer la production à 1,5 m³/h. En définitive, le réservoir rencontré composé de sables argileux sur une faible épaisseur et d'arkoses très compactes, n'a pas permis d'obtenir un débit suffisant pour que le doublet géothermique soit réalisé.

Le forage de Les Vergnes 1 - La Croix Neyrat, localisé près de Riom et profond de 1 886 m, a rencontré une série détritique à dominance arkosique avec quelques

intercalations argileuses ou marneuses. Ce forage a finalement traversé une puissante série à dominante argileuse avec des interstratifications de bancs de grès arkosique d'épaisseur réduite, et de sables fins à matrice argileuse. Au cours des essais de débitmétrie, une température de 98 °C a été mesurée dans le réservoir supérieur entre 1 535 et 1 565 m. Au-delà de cette profondeur, il n'est constaté aucun débit supplémentaire au débitmètre. En conclusion, le débit d'essai relativement faible et le rabattement important et non encore stabilisé après 27 heures de pompage, ne permettaient pas d'envisager une exploitation industrielle.

2.5. APPORT DE LA GÉOCHIMIE DES FLUIDES

Les analyses géochimiques (éléments majeurs, traces, isotopes) ont pour but de cibler la source des fluides, l'identification des roches réservoirs, la température maximale atteinte dans les réservoirs profonds et les temps de résidence. Dans le domaine des eaux souterraines au sens large (froide, chaude, minérale...), l'utilisation d'outils géochimiques permet de différencier une eau de son environnement hydrogéologique.

Dans le cadre de cette étude, une synthèse bibliographique sur les caractéristiques des eaux thermales du Massif Central en général, et sur les Limagnes en particulier, a été réalisée et a fait l'objet d'un rapport détaillé par Serra *et al.* (2003).

À partir de la composition chimique des fluides inventoriés, une estimation des températures profondes de ces eaux est proposée à l'aide des géothermomètres chimiques. Cette revue a donc pour principal objectif de rassembler les nombreuses données géochimiques disponibles dans la littérature sur les sources thermales et de proposer des éléments de réflexion sur les sites les plus favorables sur des arguments hydrogéochimiques.

Les données chimiques et isotopiques existantes dans la région des Limagnes ont été répertoriées au sein de 14 bases de données (fig. 5). Au total, 961 analyses ont été recensées sur la zone d'étude, celles-ci correspondent à 285 points d'eau répertoriés.

Les 591 analyses d'éléments majeurs qui ont une balance ionique comprise entre -5 et +5 %, ont été reportées dans le diagramme de Piper, ce qui permet de mettre en évidence les différents types d'eau en présence ainsi que leur variabilité au sein des entités géographiques. La plupart des sources présente un faciès bicarbonaté sodique (fig. 6). Le second faciès le plus représenté correspond au type chloruré calcique, avec en particulier la très grande majorité des échantillons de Châtel-Guyon situé sur la bordure ouest de la Limagne d'Allier (fig. 6). Les plus fortes minéralisations sont observées à Vals-les-Bains avec des eaux entre 9 et 9,5 g/l. Les eaux de Vichy, Sainte Marguerite et Châtel-Guyon ont des minéralisations comprises entre 6 et 8 g/l. La grande hétérogénéité observée dans les familles chimiques, tant pour les éléments majeurs que les éléments en traces, peut être mise en relation avec les données géologiques locales des émergences et la nature probable des réservoirs en profondeur.

Au niveau de la faille d'Aigueperse, le gaz carbonique de ces eaux carbogazeuses provient partiellement du dégazage de la croûte. Ces eaux ont acquis une signature d'eaux bicarbonatées chlorurées sodiques, relativement concentrées en magnésium. Les géothermomètres Na/K, Na-K-Ca, Na/Li, et Sr/K², donnent des températures

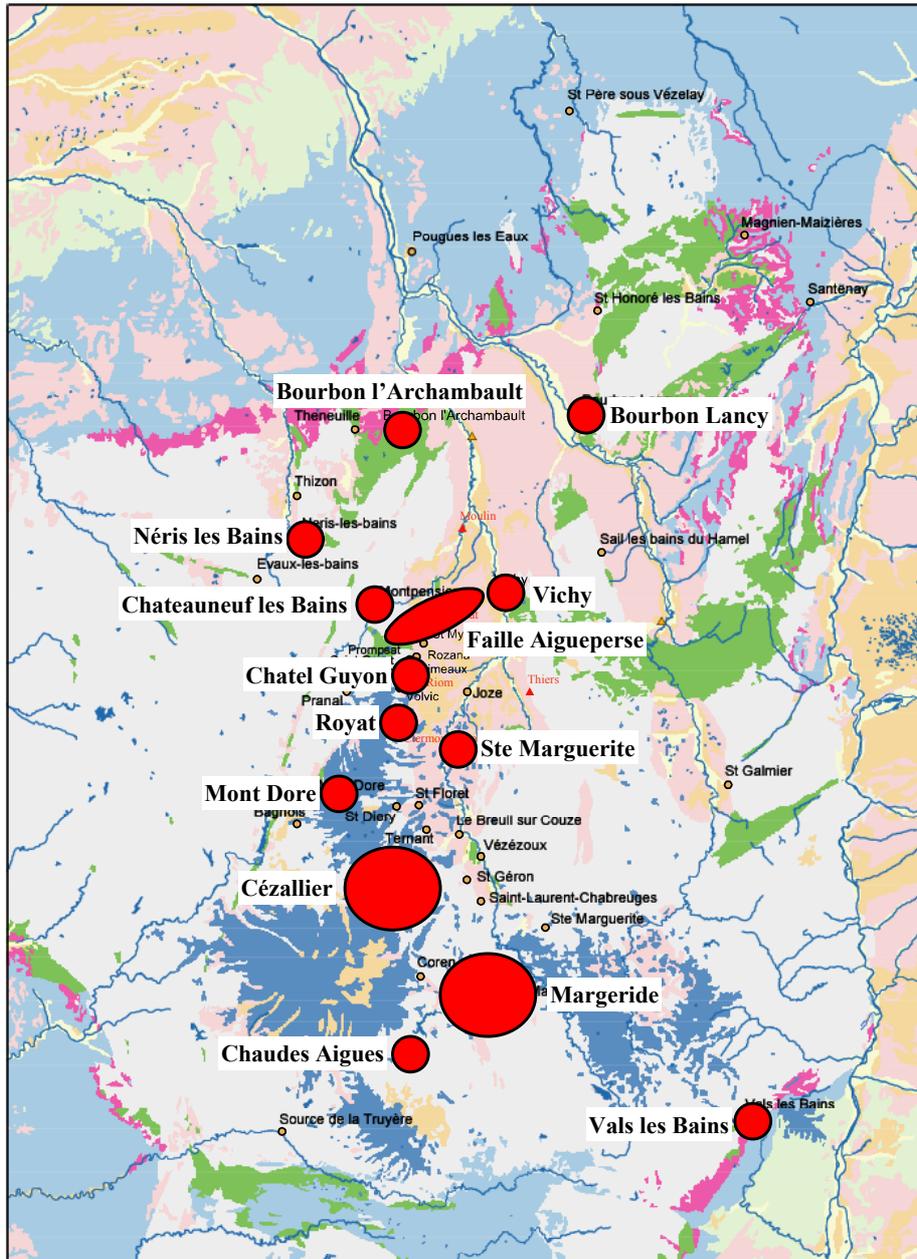


Fig. 5 - Carte de localisation simplifiée des sources regroupées dans 14 secteurs géographiques.

concordantes comprises entre 170 et 200 °C pour les eaux de la faille d'Aigueperse. Les géothermomètres Mg/K² et Mg/Li² prévoient des températures plus faibles variant de 70 à 130 °C. La répartition de ces températures montre que la plaine de la Limagne d'Allier au niveau de Riom présente les températures les plus élevées.

Les eaux de Châtel-Guyon ont un comportement qui traduit l'empreinte de la couverture sédimentaire, caractérisée par le jeu des éléments Ca, Mg, SO₄ et à un degré moindre Cl et Sr. Ces sources chlorurées calciques sont très fortement concentrées en Mg, signe d'un mélange important avec des eaux d'origine superficielle ou d'une dissolution de phases minérales magnésiennes. Ces eaux sont de plus très

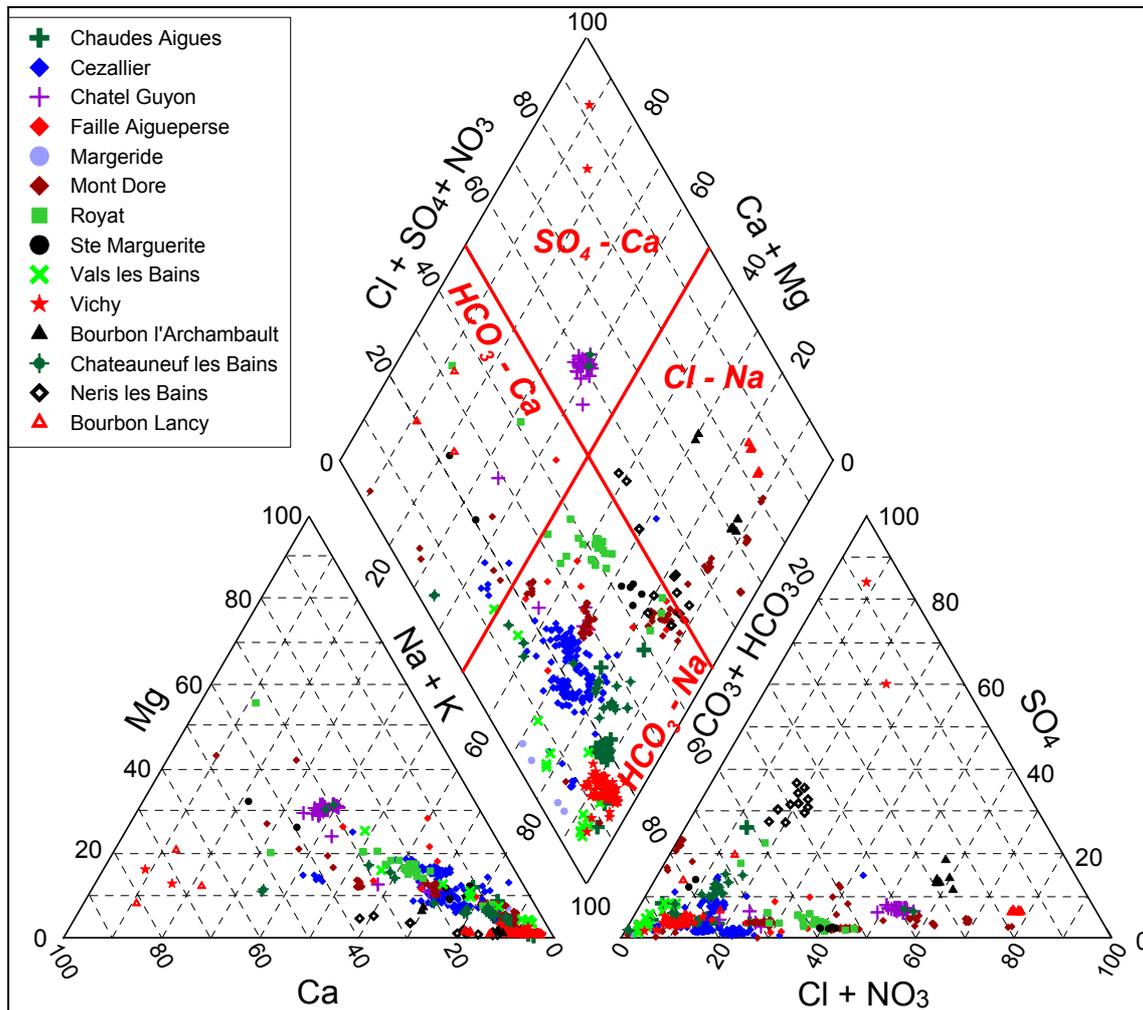


Fig. 6 - Diagramme de Piper des données dont la balance ionique est comprise entre -5 et +5 %.

pauvres en lithium, ce qui confirmerait le mélange avec des eaux superficielles. Leur température à l'émergence varie de 18 à 37 °C. Les géothermomètres Na/K, Na-K-Ca et Na/Li donnent des températures concordantes comprises entre 180 et 200 °C pour Châtel-Guyon.

Les eaux de Vichy-Saint-Yorre sont carbogazeuses, bicarbonatées sodiques. À Vichy, les températures d'émergence s'échelonnent entre 16 et 66 °C. Lors de leur remontée vers la surface, les eaux profondes sont considérablement altérées car elles traversent des roches sédimentaires. Les analyses chimiques étant très nombreuses, notre étude s'est focalisée sur les sources de Vichy. Celles-ci sont des eaux sodiques carbonatées, relativement pauvres en magnésium et qui par conséquent n'auraient pas subi de mélange important avec des eaux de surface. La température calculée avec le géothermomètre à quartz, donne une température moyenne de 100 °C.

L'ensemble des compositions chimiques observées dans les eaux jaillissant à la bordure ouest de la Limagne d'Allier est compatible avec une température profonde voisine de 200 °C. Au cours de la remontée, différentes réactions entre l'eau riche en CO₂ et la roche encaissante libèreraient Ca²⁺, Mg²⁺ et parfois K⁺ et déposeraient de la

silice. Cette région serait entourée d'une zone à température moindre de l'ordre de 135 à 150 °C avec Vichy au nord-est.

2.6. APPORT DU SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

L'ensemble des données présentées dans ce rapport a été implémenté dans un Système d'Information Géographique (SIG) à l'aide du logiciel Arcview 8 (Lieutenant, 2003). Une procédure a été mise en œuvre de manière à mettre dans le même référentiel géographique le maximum d'informations géoscientifiques. De ce fait, les données thermiques (température, isotherme), les données de forage, la géologie de surface, les réseaux de failles connues, la position des sources, la position des profils sismiques, etc., ont été rassemblés dans le même environnement logiciel de manière à pouvoir faire des combinaisons.

À partir de la base de données forage de la Limagne d'Allier et de son interprétation en termes de réservoirs, les épaisseurs de niveaux réservoirs ont été cumulées pour chaque forage ayant atteint le socle, c'est-à-dire ceux qui traversent toute la pile sédimentaire.

Pour les 98 forages concernés, l'épaisseur des niveaux détritiques francs ou mixtes a été cumulée et répartie en 4 classes d'épaisseur (0-50 m, 50-150 m, 150-250 m, >250 m). Connaissant la distribution des températures à une profondeur donnée, un croisement entre la température à 500 m et les gammes d'épaisseurs cumulées de réservoirs potentiels a été réalisé. Ce croisement entre ces classes d'épaisseurs et des valeurs de températures extrapolées à 500 m permet de mettre en évidence les secteurs géographiques les plus chauds et les plus épais, c'est-à-dire les plus intéressants au niveau géothermique.

Il en résulte que deux zones plus chaudes et possédant une épaisseur de réservoir importante s'individualisent : la première au sud de Gannat, la seconde au sud de Riom, avec des températures de 40 °C pour des épaisseurs de réservoirs supérieures à 250 m. Dans le cadre de ce projet, où il s'agit de géothermie basse et moyenne énergie, l'intérêt du SIG est de mettre en évidence les zones possédant des capacités de réservoirs potentiels les plus importantes à des profondeurs les plus faibles possibles, pour des températures élevées.

2.7. APPORT DE LA PHASE DE COMPILATION

En conclusion, la compilation des données disponibles et accessibles sur la zone des Limagnes présente donc un certain nombre de caractéristiques géologiques, thermiques et hydrogéologiques intéressantes du point de vue de la ressource géothermale. A l'échelle régionale, le Massif Central en général et la zone des Limagnes en particulier apparaissent comme une zone d'anomalie géothermique anormalement chaude. Comme de nombreux bassins sédimentaires ceinturant les reliefs anciens, les dépôts de fonds de bassin correspondent à des formations détritiques du type sable, conglomérats ou grès susceptibles de posséder des propriétés réservoirs intéressantes (porosité, perméabilité). Cette région est également caractérisée par de nombreuses sources thermales carbogazeuses qui émergent sur les bordures faillées des bassins. L'ensemble de ces facteurs (température, formations

détritiques, fluides, failles) est en faveur de circulations thermales dans le bassin et confirme l'intérêt, *a priori*, des Limagnes pour la géothermie basse, voire très basse, et moyenne énergie. Les tentatives d'exploration géothermique réalisées par le passé n'ont pas été très fructueuses. Les parties les plus profondes sont relativement mal connues car l'exploration pétrolière n'était pas orientée vers les formations les plus profondes. Il subsiste donc une certaine méconnaissance des fonds de bassin. Cette synthèse souligne également le rôle des failles (faille d'Aigueperse) comme drains potentiels et ouvre, par conséquent, des perspectives nouvelles de recherche. La zone de Moulins, au nord de la Limagne d'Allier, reste encore peu documentée car les informations, issues principalement de l'exploration de l'uranium, sont difficiles à obtenir.

3. Les travaux en cours

3.1. CARACTÉRISATION DES FLUIDES

Une mission de terrain, réalisée en juin 2003, a permis d'échantillonner des fluides dans la Limagne d'Allier (fig. 7). Ces fluides sont en cours d'analyse dans les laboratoires du service Analyse du BRGM. Une dizaine de sources thermominérales a été échantillonnée.

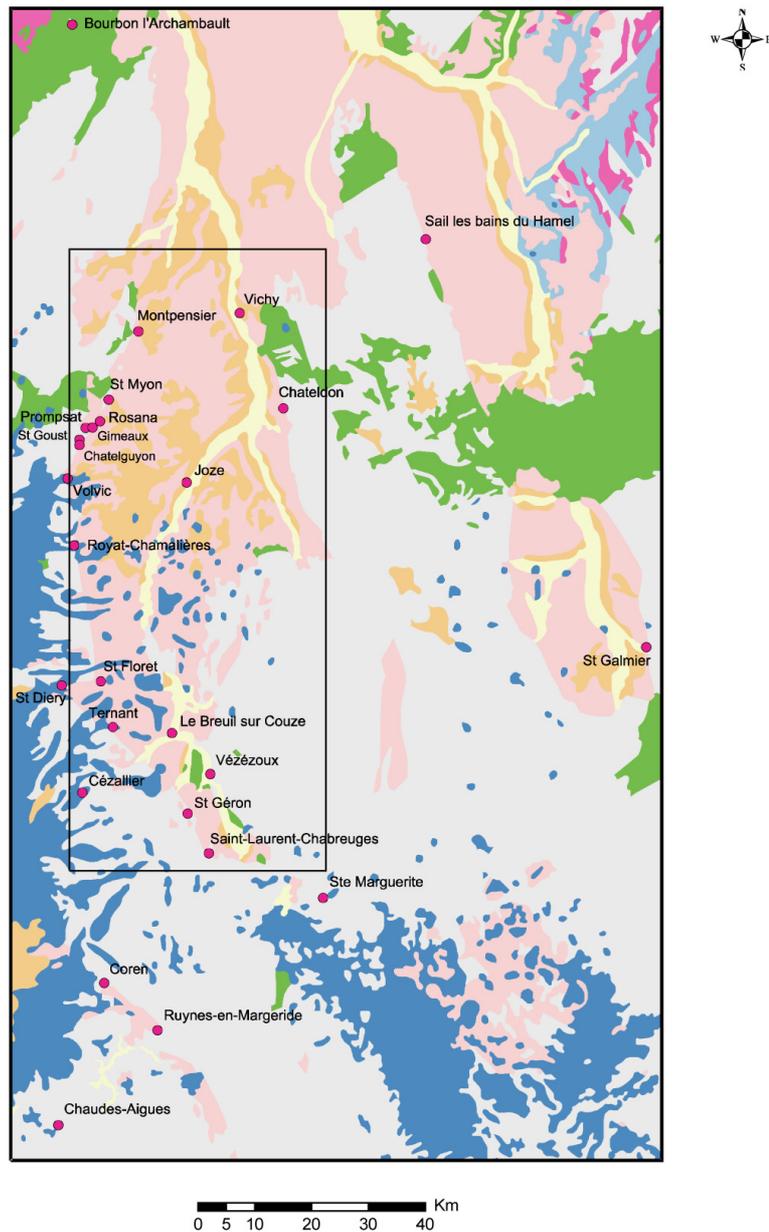


Fig. 7 - Carte de localisation des sources en Limagne d'Allier (rectangle noir) reportée sur la géologie.

3.2. RÉINTERPRÉTATION DE LA SISMIQUE

26 profils sismiques papiers ont été retrouvés avec difficultés dans les compagnies pétrolières (fig. 4). Elles ont été numérisées et portées dans un environnement logiciel (SeisVision) permettant de commencer une interprétation des réflecteurs sismiques et des failles. Ce travail en cours est illustré sur la figure 8 qui montre une section sismique E-W de 1979. On note la présence de nombreuses failles normales ayant un rejet vertical. Ces failles compartimentent les horizons géologiques et délimitent des panneaux. Le toit de l'isobathe de l'Éocène est représentée sur la figure 9.

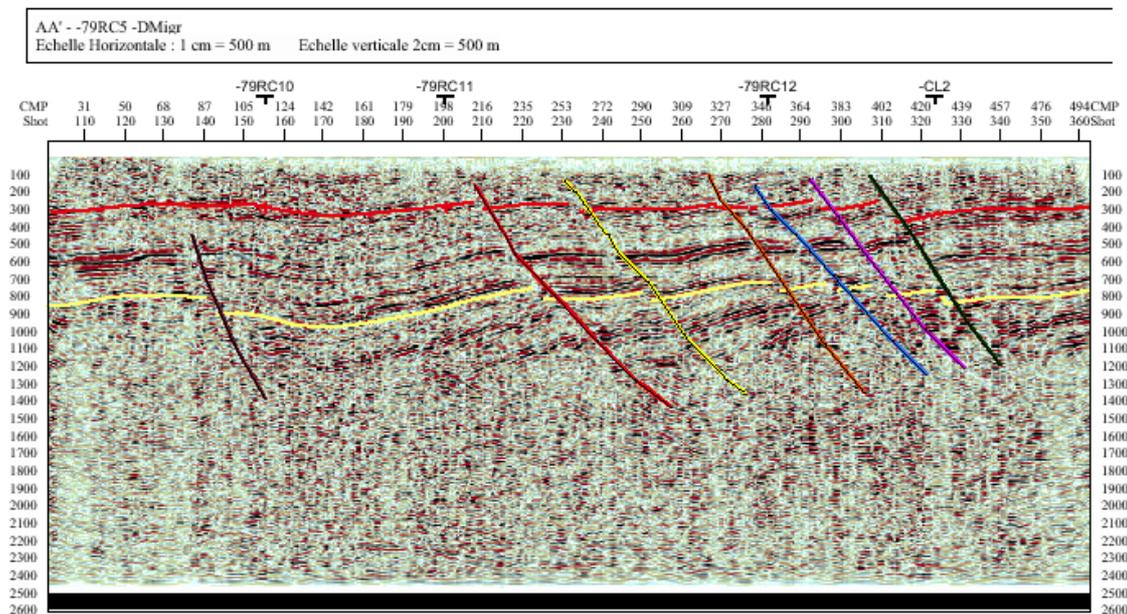


Fig. 8 - Exemple de section sismique E-W de 1979 en Limagne d'Allier. En jaune, le toit de l'Éocène et en rouge celui du Rupélien (Oligocène). Noter la forte compartimentation par failles.

3.3. MODÉLISATION 3D

Le but de la phase en cours est la réalisation d'un modèle géométrique en 3 dimensions de la géologie. Ce modèle s'appuiera essentiellement sur les données fournies par la carte géologique, les sondages et l'interprétation des profils sismiques. En fusionnant l'ensemble des données en 3D, la réalisation du modèle va permettre de vérifier la cohérence des interprétations et si besoin de les corriger. Dans l'état actuel du projet, nous prévoyons d'utiliser l'éditeur géologique 3D pour réaliser cette modélisation. Cet outil développé au BRGM permet de prendre en compte à la fois les positions des interfaces géologiques et leurs pendages. La réalisation du modèle passera par les étapes suivantes :

- définition de la zone à modéliser, c'est-à-dire du volume 3D délimitant le modèle ;
- construction de la pile géologique contenant les formations à modéliser et l'histoire géologique. Cet outil permettra de régler les intersections entre les formations ;

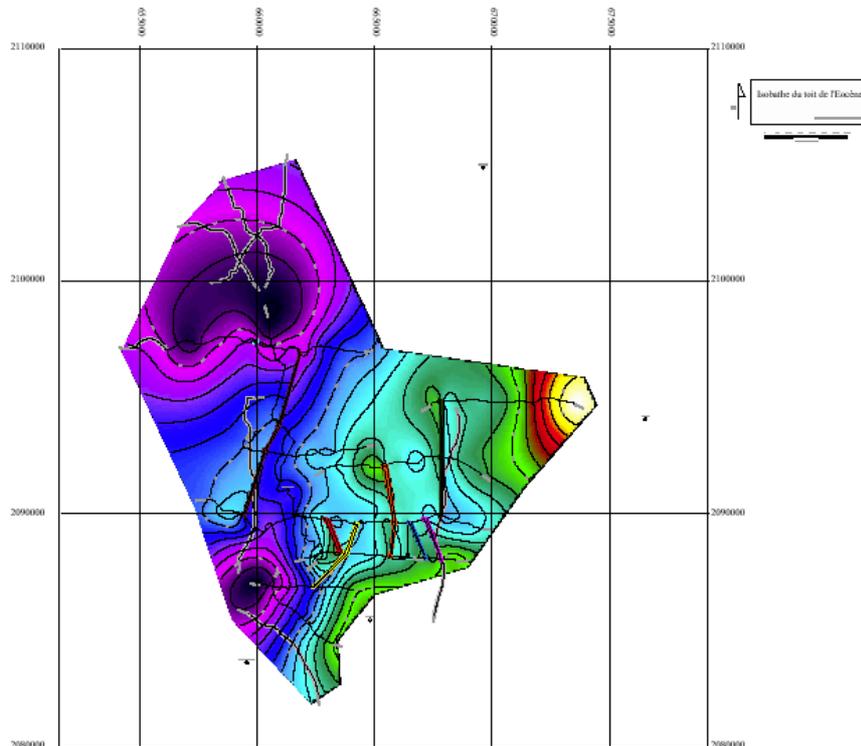


Fig. 9 - Exemple de carte extraite de Seisvision montrant le toit de l'isobathe de l'Eocène en Limagne d'Allier. En jaune, les profondeurs faibles (400 m), en violet, les profondeurs fortes (1 100 m).

- intégration des données sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT), dans les sondages et dans les coupes ;
- définition du réseau de failles pour gérer les relations entre les failles à modéliser ;
- contrôle de la cohérence et si besoin correction des interprétations.

Les travaux en cours sont dans la phase de préparation menant à la réalisation du modèle géométrique 3D. De façon à anticiper l'arrivée des données, nous avons porté notre effort sur le traitement des failles avec en particulier, la mise au point d'un traitement spécifique pour un réseau de failles. Cette méthodologie, qui est maintenant opérationnelle, permettra d'intégrer rapidement les données lorsqu'elles seront disponibles. La suite du travail va consister à définir l'emprise du modèle et la pile géologique, prélude à la construction du modèle géométrique 3D.

4. Inventaire des besoins en énergie

4.1. INTRODUCTION

Une mission de rencontre avec des partenaires (industriels, secteur agro-alimentaire, décideurs, représentants des administrations, agence d'objectif, élus) a été réalisée en Auvergne (Goyeneche, 2003). Elle s'inscrivait dans le cadre du volet relatif à l'inventaire des diverses catégories de besoins énergétiques de la Limagne. Elle avait pour but d'identifier, à partir de rencontres avec des représentants de divers organismes publics ou privés, les programmes prévus ou en projets de réhabilitation ou de construction neuve de bâtiments nécessitant des besoins de chaleur et de froid. Le BRGM Auvergne avait identifié au préalable des correspondants d'organismes à rencontrer et obtenu, avec l'aide des instances locales de la DRIRE et de l'INSEE, diverses informations statistiques relatives à la production et à la consommation d'énergie en Auvergne, issues du Schéma de Service Collectif de l'Énergie paru au J.O. du 24/04/2002 et des tableaux économiques de l'Auvergne pour 2002 et 2003. La synthèse de ces rencontres a été rapportée dans Goyeneche (2003).

4.2. LES RENCONTRES

Dans l'agglomération de Clermont-Ferrand, différents acteurs économiques publiques et privés ont été rencontrés. Ces acteurs sont des industriels (Limagrain) et des représentants de collectivité (Communauté d'Agglomération de Clermont-Ferrand). Les services techniques de la ville de Clermont-Ferrand (Service Energie), l'OPAC (Office Public d'Aménagement et de Construction du Puy-de-Dôme et du Massif central), le représentant du Comité d'Expansion Économique du Puy-de-Dôme et celui de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Clermont-Ferrand - Issoire ont également été sensibilisés à la démarche COPGEN. Les services techniques de la ville de Clermont (service Énergie) ont précisé que neufs projets d'envergure seraient à réaliser dans les prochaines années.

Les représentants de l'ADEME Auvergne et l'Adhume (Agence locale de Maîtrise de l'Énergie) ont également été rencontrés et ont manifesté un vif intérêt à la démarche COPGEN.

Au niveau des industriels, la Société Limagrain dont le siège de l'entreprise se trouve sur la commune d'Ennezat à une vingtaine de kilomètres au nord-est de Clermont-Ferrand sur un domaine d'une superficie de plus de 54 ha. Du point de vue des consommations énergétiques, il ressort de l'entretien que :

- l'unité de production des semences destinées au secteur professionnel, représente une consommation annuelle de 7 500 MWh électriques affectés essentiellement au séchage des grains et à leur conservation par climatisation à des températures de 10 à 12 °C. La puissance totale souscrite est de 3 400 kVa en été et de 1 400 kVa le reste de l'année. Les chambres climatisées représentent une surface de 6 000 m² et fonctionnent sur des groupes froids avec des unités de déshydratation de l'air ;

- l'unité dite de « Maïs-Consommation », qui sèche le maïs produit dans le département du Puy-de-Dôme, représente une consommation annuelle de 2 000 MWh électriques.

Ces deux activités sont saisonnières et interviennent, sur les seuls mois de septembre et octobre, pour 80 % de leurs consommations annuelles totales.

Par ailleurs, l'unité de transformation des céréales pour le petit déjeuner est une activité régulière sur l'année qui consomme 11 000 MWh électriques par an.

À ces consommations de transformation agricole, il convient d'ajouter les besoins en chauffage et en climatisation des bureaux pour un groupe dont l'effectif global est de 5 200 salariés.

4.3. CONCLUSION ET SUITES À DONNER

D'une façon générale, il apparaît que l'agglomération de Clermont-Ferrand est propice au développement de l'énergie géothermique basse et très basse énergie. Il reste que globalement la géothermie est mal connue de nos interlocuteurs qui, dans leurs programmes de développement, sont davantage sensibilisés par les filières bois et solaire en oubliant même la référence à la géothermie. La géothermie souffre également d'une image négative due à l'échec des deux forages de Beaumont et de la Croix-Neyrat dont la réalisation remonte pourtant au début des années 1980. Aucune autre réalisation du même type n'a eu lieu depuis cette époque.

Parmi les suites à donner, il est prévu :

- d'écrire à chacun des interlocuteurs rencontrés pour acter les contacts pris et prolonger la recherche d'informations sur les projets ;
- de reporter sur une carte de localisation, les projets identifiés au cours de la mission sur la carte au 1/25 000 du secteur ;
- de continuer à interroger les acteurs économiques de Clermont-Ferrand, lors d'une seconde mission au cours de laquelle seront approchés des élus, des industriels et certains bureaux d'études.

Par ailleurs et afin de poursuivre le travail d'identification des besoins sur l'ensemble de la zone d'étude, des approches identiques seront menées, pour le Puy-de-Dôme, sur la région de Issoire-Brassac et, pour l'Allier, sur la région de Moulins-Vichy.

5. Autres actions

Dans le cadre du projet COPGEN, le montage d'une convention de recherche avec le laboratoire Magmas et Volcans de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand est en cours d'élaboration. Cette convention porte sur l'étude de 5 000 m de carottes de sondages faits par RTZ pour la recherche de minéraux industriels en 1998. L'objectif est de réaliser des calages lithostratigraphiques sur ces échantillons profonds (jusqu'à 1 000 m) qui offrent l'opportunité exceptionnelle d'études fines sur les séries sédimentaires du bassin d'Allier.

Des actions de communications internes et externes ont également été réalisées :

- en février 2003, un exposé à Orléans à l'attention de l'ADEME ;
- en avril 2003, un exposé à l'ADEME Ile-de-France, à Puteaux, dans le cadre du débat national sur l'énergie ;
- en juin 2003, un exposé en interne BRGM sur l'avancement du projet.

Conclusion

Ce rapport d'avancement présente de façon synthétique l'état d'avancement et les résultats majeurs de la convention n° 02 05 037 entre l'ADEME et le BRGM, rassemblée dans le projet COPGEN à mi-parcours.

Ce projet vise à faire une synthèse du potentiel géothermique de Limagne à partir, essentiellement, de documents d'archives. Ce rapport reprend et résume les travaux de la tâche Compilation du projet, travaux édités de façon exhaustive dans quatre rapports techniques séparés. Les travaux en cours portent essentiellement sur l'interprétation de 26 profils sismiques et la modélisation 3D des interfaces géologiques intéressants.

Parallèlement, l'analyse des besoins en énergie de la région de Clermont-Ferrand, en cours de réalisation, montre que les acteurs socio-économiques de la région de Clermont-Ferrand portent un vif intérêt au développement possible de la géothermie dans leur région même si cette énergie renouvelable est relativement méconnue.

Références

- Genter A., Giot D., Lieutenant N., Nehlig P., Rocher Ph., Roig J.Y., Chevremont Ph., Guillou-Frottier L., Martelet G., Bitri A., Perrin J., Serrano O., Courtois N., Vigouroux Ph., Négrel Ph., Serra H., Petelet-Giraud E. (2003) - Méthodologie de l'inventaire géothermique des Limagnes : projet COPGEN, compilation des données. Rapport BRGM/RP-52644-FR.
- Goyeneche O. (2003) - Étude des besoins énergétiques de la région de Clermont-Ferrand. Compte rendu de mission 07 et 08 octobre 2003. ENE 03/104, 8 p.
- Lieutenant N. (2003) - Mise en place d'un SIG évolutif dans le cadre d'un inventaire du potentiel géothermique. Mémoire de DESS Université d'Orléans, BRGM, 49 p.
- Martelet G., Guillou-Frottier L., Bitri A., Serrano O., Perrin J., Genter A. (2003) - Méthodologie de l'inventaire géothermique des Limagnes : projet COPGEN, compilation des données géophysiques. Rapport BRGM/RP-52667-FR.
- Serra H., Petelet-Giraud E., Négrel Ph. (2003) - Inventaire du potentiel géothermique des Limagnes : projet COPGEN. Synthèse bibliographique de la géochimie des eaux thermales et estimation des températures profondes de ces eaux. Rapport final. Rapport BRGM/RP-52587-FR.

Centre scientifique et technique
Service connaissance et diffusion de l'information géologique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34