Document à accès différé en 2011

Université de Pau et des Pays de l'Adour
Etude de préfaisabilité d'exploitation géothermique

Rapport final

BRGM/RP-57602-FR

Aout 2009

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

REGION AQUITAINE

UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document à accès différé en 2011

Université de Pau et des Pays de l'Adour
Etude de préfaisabilité d'exploitation géothermique

Rapport final

BRGM/RP-57602-FR
Aout 2009

P. Durst et J.P. Platel et N. Monneyron

Vérificateur :	Approbateur :
Original signé par : Nicolas Pedron	Original signé par : Philippe Dutartre

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

Avertissement :

Ce document est constitué de deux parties :

- Université de Pau et des Pays de l'Adour - Etude des ressources géothermiques potentielles p 5
- Campus de Pau - Etude de préfaisabilité de production de chaleur par géothermie p 43

Mots clés : Géothermie, Pré-faisabilité, Université, Pau, Géologie, Hydrogéologie, Danien

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

P. Durst, J.P. Platel et N. Monneyron (2009)
Université de Pau et des Pays de l'Adour - Etude de préfaisabilité d'exploitation géothermique – BRGM/RP-57602-FR, 88 p., 25 fig, 9 tables, 3 annexes.

© BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Première partie :

Université de Pau et des Pays de l’Adour Etude des ressources géothermiques potentielles

Synthèse

L'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) envisage d'utiliser la géothermie pour le chauffage des bâtiments situés sur le campus en incluant éventuellement certains bâtiments voisins. Une étude, cofinancée par l'UPPA, la région Aquitaine, l'ADEME et le BRGM a donc été mise en œuvre par le BRGM Aquitaine.

Cette étude comporte deux volets: une étude géologique et hydrogéologique inventoriant les ressources géothermiques potentielles et une étude de préfaisabilité concernant l'exploitation de ces ressources en adéquation avec les besoins en énergie thermique du campus universitaire.

Le présent rapport concerne la première partie et est basé sur l'exploitation des données et connaissances disponibles au BRGM.

La synthèse des connaissances géologiques dans le secteur étudié a permis la description de l'ensemble des unités stratigraphiques, depuis la surface jusqu'à plus de 2500 m.

Trois aquifères exploitables ont ainsi été définis et étudiés :

- Un aquifère superficiel, terrasse Mindel, présente de 5 à 30 m de profondeur susceptible de fournir un débit de 15 m^3/h d'eau ferrugineuse à 15°C.

- Deux aquifères plus profonds dont la géométrie a été calculée. Le premier, le banc de calcaire repère est très mal défini d'un point de vue hydrodynamique. Le second, le Dano-paléocène s'étend de 1700 à 1765 m. En extrapolant ses propriétés aquifères depuis le plus proche captage, à 20 km, il possible d'espérer des débits exploitables supérieurs à 100 m^3/h. La température de l'eau se situerait au dessus de 65°C.

Le Dano-paléocène semble constituer une ressource géothermique potentiellement exploitable, néanmoins seul un forage dans le secteur concerné permettra de valider les hypothèses émises sur ses caractéristiques.

Sommaire

1. INTRODUCTION 10
2. RAPPEL SUR LA GEOTHERMIE 11
2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE 11
2.2. DIFFERENTS TYPES DE GÉOTHERMIES ET POTENTIELS D'UTILISATION 11
2.2.1. Géothermie haute énergie (T°C > 150 °C) 11
2.2.2. Géothermie moyenne énergie (T°C : 90 à 150°C) 11
2.2.3. Géothermie basse énergie (T°C : 30 à 90°C) 12
2.2.4. Géothermie très basse énergie (T°C < 30 °C) 12
3. CONTEXTE GEOLOGIQUE 13
3.1. HISTOIRE GEOLOGIQUE 13
3.2. CONTEXTE STRUCTURAL 14
4. LITHOSTRATIGRAPHIE 17
4.1.1. Quaternaire 18
4.1.2. Pliocène à Miocène supérieur 18
4.1.3. Miocène à Oligocène supérieur 19
4.1.4. Eocène moyen à inférieur 19
4.1.5. Eocène inférieur 19
4.1.6. Paléocène 20
4.1.7. Crétacé supérieur 21
5. RESSOURCES POTENTIELLES 23
1. LA TERRASSE DU MINDEL 23
5.1. NIVEAU CALCAIRE REPERE ET DANO-PALEOCENE 24
5.1.1. Géométrie 24
5.1.2. Nappe du calcaire repère 28
5.1.3. Nappe du Dano-Paléocène (Calcaire de Lasseube) 28
6. CONCLUSION 31
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 33

Liste des figures

Figure 1 Isohypses de la base du Tertiaire 15
Figure 2 Isohypses de la base du Crétacé supérieur 15
Figure 3 Isohypses de labase du Crétacé inférieur (Serrano et al, 2006) 15
Figure 4 Puits utilisés pour la reconnaissances des formations profondes 17
Figure 5 Carte géologique du secteur étudié 18
Figure 6 Localisation des alluvions récentes sur le campus 24
Figure 7 Localisation des puits utilisés pour la détermination géométrique 25
Figure 8 Isohypses du toit du banc de calcaire repère (NGF) 25
Figure 9 Puissance du banc de calcaire repère (m) 26
Figure 10 Isohypses du toit du Dano-Paléocène (NGF) 26
Figure 11 Puissance du Dano-Paléocène (m) 27
Figure 12 Coupe Ouest-Est au droit de l'UPPA 27
Figure 13 Coupe Sud-Nord au droit de l'UPPA 28

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des Forages étudiés 35
Annexe 2 Localisation des lignes sismiques 39

1. Introduction

L'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) envisage d'utiliser la géothermie pour le chauffage des bâtiments situés sur le campus en incluant éventuellement certains bâtiments voisins. L’UPPA a donc, en tant que maître d’ouvrage, mandaté le BRGM pour réaliser une étude de préfaisabilité pour disposer d'une meilleure connaissance des ressources géothermiques disponibles sur le site, des conditions d'accès à cette ressource ainsi que d'éléments concernant la préfaisabilité des installations. Cette étude est cofinancée par l’UPPA, la région Aquitaine, l’ADEME et le BRGM.

Cette étude comporte deux volets:

- Une étude géologique et hydrogéologique inventoriant les ressources géothermiques potentielles sur la zone ainsi que les possibilités d'accès à ces ressources.

- Une étude de préfaisabilité concernant l'exploitation de ces ressources en adéquation avec les besoins en énergie thermique du campus de Pau de l’UPPA.

Le présent rapport concerne la première partie et est basé sur l'exploitation des données et connaissances disponibles au BRGM.

Après un bref rappel sur les différentes filières d'exploitation de la ressource géothermique, il présente les conclusions de la synthèse des connaissances géologiques dans le secteur étudié et en particulier la description de l'ensemble des unités stratigraphiques, depuis la surface jusqu'à plus de 2500 m.

Cette synthèse permet d'identifier les différents aquifères susceptibles de fournir une ressource potentiellement exploitable et font l'objet d'une description hydrogéologique à partir des données de forages et d'exploitation des ouvrages présent sur le secteur. Une attention plus particulière est portée sur la caractérisation de la géométrie de deux aquifères profonds méconnue sur le secteur.

2. Rappel sur la géothermie

2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

Du grec gêo (terre) et thermos (chaud), la géothermie consiste à exploiter la chaleur stockée dans le sous-sol de notre planète. Cette énergie est potentiellement considérable : 1 km^2 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 ≅ 11'630 kWh). Les domaines d'utilisation de l'énergie de la terre recouvrent le chauffage, le rafraîchissement 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/m^2. 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/100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C/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 mécanisme.

2.2. DIFFERENTS TYPES DE GÉOTHERMIES 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. Géothermie haute énergie (T°C > 150 °C)

La géothermie haute enthalpie ou haute température concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures à 150°C. Les réservoirs, généralement localisés au-delà de 1500 mètres de profondeur, se situent dans des zones de gradient géothermique anormalement élevé. Lorsqu'il existe un réservoir, le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.

2.2.2. Géothermie moyenne énergie (T°C : 90 à 150°C)

La géothermie de moyenne température ou moyenne enthalpie se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90 et 150°C. Elle se retrouve dans les zones propices à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1000 m. Elle se situe également dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2000 à 4000 mètres. Pour produire de

l'électricité, une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire est nécessaire.

2.2.3. Géothermie basse énergie (T°C : 30 à 90°C)

Elle consiste en l'utilisation de la chaleur, par extraction d'eau chaude contenue dans les aquifères profonds (1000 -- 2000 m) des bassins sédimentaires et d'utiliser cette eau directement (via un échangeur de chaleur) pour le chauffage. En France métropolitaine, plus de 30 réseaux de chaleur urbains sont alimentés par ce type de géothermie. Ils permettent d'économiser plus de 160000 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. En Aquitaine, l'eau du Cénomano-Turonien est captée sous la communauté Urbaine de Bordeaux entre 800 et 1100 m de profondeur, à des températures comprises entre 45 et 55°C.

2.2.4. Géothermie très basse énergie (T°C < 30 °C)

Elle concerne la production de chaleur et/ou de froid contenue dans les terrains ou les aquifères peu profonds (en général < 100 m). 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 sol (capteurs horizontaux, profondeur > à 2.0 m), le sous-sol (capteurs verticaux, profondeur généralement inférieure à 100 m), l'eau souterraine des aquifères peu profonds (puits de pompage) ou l'air (intérieur ou extérieur de l'habitat).

3. Contexte géologique

3.1. HISTOIRE GEOLOGIQUE

Après la fin de la phase hercynienne, le substratum paléozoïque métamorphique, atteint par certains forages pétroliers à plus de 5 000 m de profondeur dans le secteur du Haut du Grand-Rieu au sud-ouest de Rousse, a été profondément tectonisé par une phase de distension qui a donné naissance à une structuration en blocs affaissés séparés de blocs élevés par de grandes failles normales. La géométrie de ces cassures tardi-hercyniennes de direction N 110-120° E et conjuguées contrôle pendant tout le Trias la sédimentation à dominante détritique puis évaporitique dans des milieux de dépôts confinés, mais dans des zones très subsidentes. Cette période à évaporites se maintient jusqu'au Lias inférieur (Curnelle, 1983). Les marnes noires du Toarcien scellent cet ensemble.

Au Jurassique inférieur et moyen se met progressivement en place un système de plate-formes carbonatées (*Formations de Mézos, d'Ossun*) dont la répartition entre domaine externe et interne s'organise de part et d'autre d'une zone de haut-fonds méridienne ("barrière" oolithique allant d'Angoulême à Tarbes). Cette organisation se maintient au Jurassique supérieur pendant que s'ouvre l'Atlantique (*Formations de Lons, de Cagnotte, Dolomie de Meillon*). De grands blocs de socle paléozoïque subsistent en élévation, limités par des failles et ne sont pas (ou que très peu) recouverts par les sédiments du Jurassique; c'est notamment le cas du Haut du Grand-Rieu. Puis au Jurassique terminal les mers se confinent à nouveau pendant la régression du Tithonien (avec apparition du Seuil des Landes). Des dolomies se déposent de manière générale dans les sous-bassins (*Dolomie de Mano* initialement découverte dans le bassin de Parentis au Nord).

Au Crétacé inférieur et en particulier pendant l'Aptien et l'Albien, la distension est très importante dans le sud du bassin pendant l'ouverture du golfe de Gascogne; c'est à cette période que s'individualise le bassin d'Arzacq (bassin d'Adour-Mirande) avec les puissants dépôts de marnes et marno-calcaires dans des aires très subsidentes correspondant à la phase de distension (*Formations de Sainte-Suzanne et d'Assat* par ex). Quelques plates-formes carbonatées à rudistes, de sédimentation peu profonde existent localement en bordure (*Formation de Clèdes*, par ex).

Au Crétacé supérieur, une plate-forme carbonatée plus ou moins distale s'installe d'abord (*Formation de Mazères*) puis le début de l'orogenèse pyrénéenne se fait sentir avec une période tectonique compressive dès le Cénomanien, qui réactive les grands accidents de socle en failles inverses. Peu à peu se crée un bassin d'avant-pays qui recueille le dépôt de puissantes séries de flyschs au sud du secteur de Meillon, alors qu'une plate-forme carbonatée se maintenait au nord.

Pendant la majorité du Paléocène et de l'Eocène, cette disposition sédimentaire générale perdure, avec la même organisation des milieux de dépôt du sud au nord depuis un sillon flysch jusqu'à la plate-forme carbonatée; c'est surtout une sédimentation profonde de type flysch ou de marnes hémipélagiques,.

La phase de compression majeure se produit à la fin de l'Eocène moyen et au début de l'Eocène supérieur; elle est à l’origine de chevauchements multiples au sud de la zone, et en particulier de la faille nord-pyrénéenne qui s'étire dans le secteur de Lasseube; l’inversion tectonique des accidents bordiers des bassins du Crétacé inférieur se produit avec apparition de plissements syn-sédimentaires de direction dominante N 110-120° E.

A l’Oligocène et au Miocène, les structures sont peu à peu recouvertes en discordance par les dépôts continentaux de type molasse, correspondant aux produits d'érosion de la chaîne au fur et à mesure de sa surrection.

3.2. CONTEXTE STRUCTURAL

Le bassin d’Aquitaine est actuellement limité au sud par la Faille Nord-Pyrénéenne (FNP) constituée de plusieurs accidents chevauchants de direction WNW-ESE à vergence nord. Le principal se situe à environ 3 km au sud de Gan et passe par le bourg de Lasseube.

La morphologie générale de cette partie du bassin correspond à une vaste zone synclinale complexe, la base du Tertiaire s'enfonçant vers -2 000 m alors qu'elle se tient vers -1 200 m sur l'anticlinal de Pau-Meillon (fig. 4). Cette morphologie se retrouve approximativement à la base du Crétacé supérieur (fig. 5) et à celle plus complexe du Crétacé inférieur (fig. 6), car ces formations surmontent en discordance les blocs faillés constitués des terrains jurassiques (à triasiques sur le Haut de Grand-Rieu).

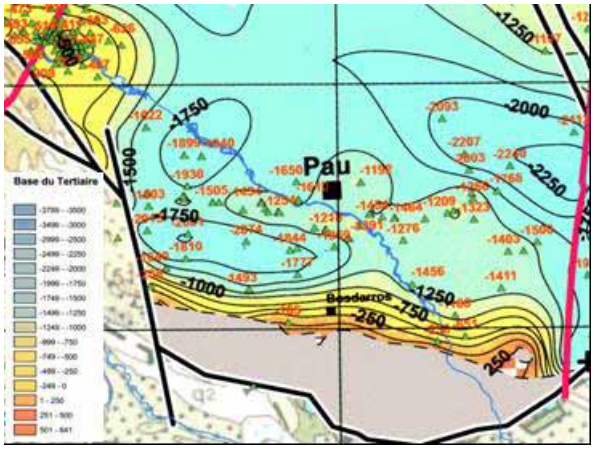


Figure 1 Isohypses de la base du Tertiaire

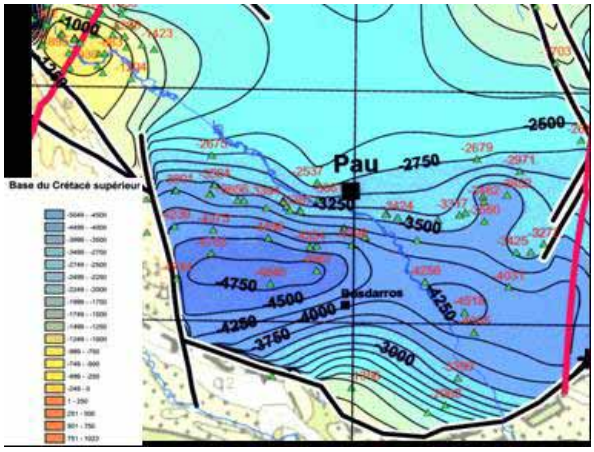


Figure 2 Isohypses de la base du Crétacé supérieur

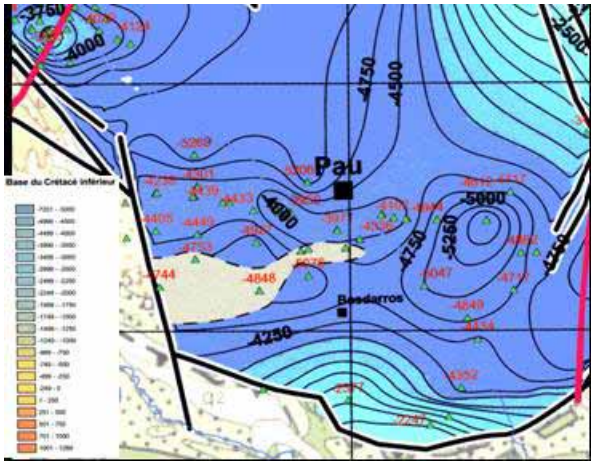


Figure 3 Isohypses de labase du Crétacé inférieur (Serrano et al, 2006)

Au nord du chevauchement existent des structures approximativement parallèles séparées par des failles:

- structure de Meillon, anticlinal de Pau, séparé du dôme anticlinal de Lacq (au nord- ouest) par un effondrement faillé de direction sub-méridienne

- structures de Rousse et de Lacommande entre la FNP et la précédente.

L'ensemble du secteur a été exploré par près d'une centaine de puits d'hydrocarbures et de nombreux profils de sismique-réflexion, qui permettent de se faire une représentation assez fidèle de la géométrie générale des formations, bien que les rapports entre les différentes structures soient encore insuffisamment connus. Néanmoins, les lignes sismiques se concentrent sur ces structures et les puits sont concentrés au niveau des champs d'exploitation d'hydrocarbures au Sud et au Sud-est de Pau ; les informations au droit de l'agglomération de Pau restent lacunaires.

4. Lithostratigraphie

Les formations seront décrites depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes dans le sens de la reconnaissance par sondage.

La reconnaissance des formations profondes s'est basée sur les Rapports de fin de sondage d'exploration pétrolière et d'exploitation des 7 puits les plus proches de Pau (Figure 1)

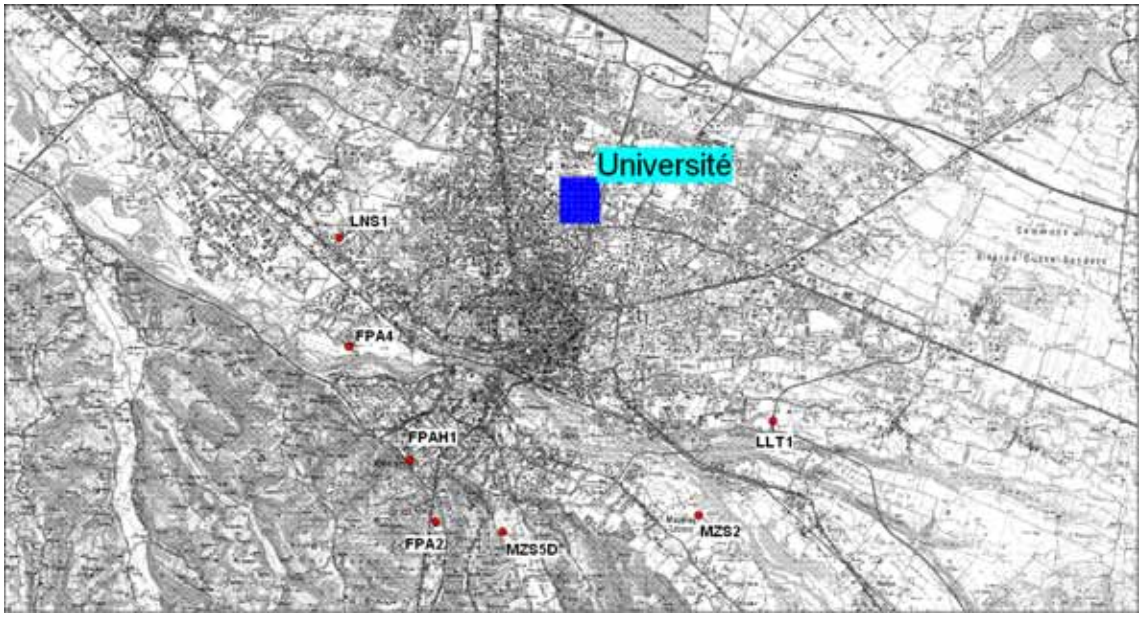


Figure 4 Puits utilisés pour la reconnaissances des formations profondes

La description des terrains et aquifères est limitée à 3500 m de profondeur, c'est-à-dire ceux du Quaternaire, du Tertiaire et du Crétacé supérieur.

4.1.1. Quaternaire

Le secteur étudié est drainé du sud-est vers le nord-ouest par le Gave de Pau et l'Ousse. C'est le Gave qui comprend la série d'alluvions en terrasses étagées la plus complète sur le secteur (Figure 5).

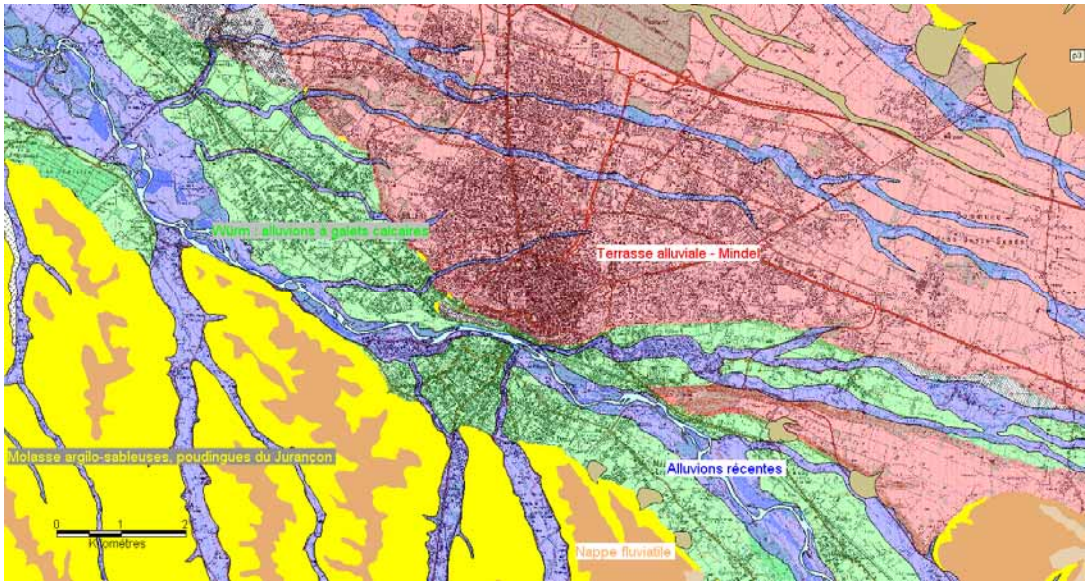


Figure 5 Carte géologique du secteur étudié

Alluvions récentes holocènes - La très basse terrasse est constituée par les alluvions récentes correspondant à l'appellation locale "saligue" (forêt riveraine du gave) et constituées par des galets et graviers issus du massif pyrénéen.

Würm - Les alluvions du gave de Pau formant la moyenne terrasse sont constituées d'alluvions grossières à dominante de granite et schiste. Elles s'étalent largement et ont pour appellation : terrasses de Bordes, de Denquin et de Lons. Leur puissance varie de 16 m à 25 m.

Mindel - Par contre la terrasse du Pont-Long, constituée de galets de granite couvre une très grande superficie à l'est et au nord de Pau où sa puissance est de 30 m environ.

4.1.2. Pliocène à Miocène supérieur

Deux nappes alluviales très anciennes ont été distinguées sur les cartes géologiques. Reposant en discordance sur les molasses du Miocène, il n'en subsiste que quelques lambeaux sur les interfluves les plus hauts, principalement entre le gave et le Soust (entre 410 et 300 m NGF) et au sud-ouest de Jurançon. Ce sont les nappes de Maucor et d'Angaïs, datées du Pliocène; elles sont constituées de galets rubéfiés de quartzites dans une matrice argileuse rougeâtre, sur une épaisseur qui a dû dépasser 15 m pour la nappe de Maucor et plus de 50 m pour celle d'Angaïs.

Des argiles ligniteuses sont localement interstratifiées dans la nappe d'Angaïs, rappellant les Glaises bigarrées des Landes et les lignites d'Orignac, ce qui fait que la base de cette nappe peut être attribuée au Miocène supérieur.

4.1.3. Miocène à Oligocène supérieur

Poudingues de Jurançon - La majorité des reliefs du secteur d'étude, correspondant aux interfluves séparant le Gave de Pau, le Soust, le Nez et le ruisseau des Hiès ainsi que les coteaux de Jurançon, sont constitués par une puissante formation de matériaux silicoclastiques bruns à ocre jaune qui s'épaissit régulièrement du sud au nord, depuis sa limite d'érosion courant des environs de Baliros à ceux de Lasseube en passant juste au nord de Gan, jusqu'à près de 1 000 m aux portes de Pau et de Billières (791 m à PA 4 et 958 m LNS 1).

Ces terrains ont été dénommés *Poudingues de Jurançon* et attribués au Miocène inférieur à moyen, mais certains auteurs les font régionalement débuter à l'Oligocène supérieur. Ils sont constitués par une succession de séquences continentales débutant par des épandages conglomératiques ravinants avec chenaux à galets très grossiers à dominante de calcaires, suivis d'assises de grès et sables plus ou moins argileux, d'argiles indurées et de petits bancs de calcaires palustres.

4.1.4. Eocène moyen à inférieur

Régionalement, on y distingue deux unités aquifères :

- **Sables infra-molassiques** : En position immédiatement sous-jacente aux molasses existe une formation sableuse qui affleure parfois au pied des coteaux de part et d'autre du gave de Pau : ce sont les des sables de la *Formation de Baliros* que l'on retrouve à l'est d'Angaïs, de Lagos et de Bordères. Dans la localité-type, des intercalations gréseuses à nummulites et discocyclines ont été très anciennement signalées et rementionnées dans la notice de la carte Morlaas (Delfaud et al, 1982).

- **Grès à nummulites** : Au dessus des Marnes de Gan, nettement marines, se superposent dans les sablières de Baliros, 8 à 10 m de chenaux sableux métriques à stratifications obliques, 2 à 4 m de niveaux argilo-sableux à flaser-bedding déposés en milieu intertidal puis 12 à 15 m de sables à grandes stratifications obliques, interstratifiés de chenaux à galets.

Toutefois, ces deux formations ne se retrouvent dans aucun des puits du secteur, car elles ont été érodées par les poudingues fortement discordant vers le nord.

4.1.5. Eocène inférieur

On peut diviser l'Eocène inférieur en 4 unités :

- La première unité puissante de l'Eocène inférieur correspond pour sa majeure partie à la *Formation de Gan*. Elle est constituée par des marnes gris-bleues silteuses plastiques à fins niveaux argilo-gréseux, déposées en domaine circalittoral à infralittoral profond, riche en faune benthique. Elles correspondent aux "marnes à térébratules", "marnes de Bosdarros" et "marnes à *Xanthopsis"* des auteurs anciens. Cette unité se réduit vers le nord suite à l'érosion par les molasses (300 à 500 m environ à PA 4 et LNS 1), au fur et à mesure que son toit s'approfondit, s'enfonçant à -645 NGF et -804 NGF respectivement dans ces mêmes puits. Des niveaux métriques de grès plus ou moins argileux y sont interstratifiés.

- La seconde a été distinguée sur une centaine de mètres d'épaisseur dans les puits pétroliers sous l'appellation "*Flysch éocène*", car elle présente une sédimentation plus alternante au sein des marnes. Elle affleure dans le sud du secteur de Gan sous le nom de *Flysch de Bosdarros*. Sa puissance moyenne est de 110 m environ.

- Déposée au cours de l'Ilerdien et présente sur l'ensemble du secteur, cette unité correspond à une alternance d'argile carbonatée, de fins niveaux de grès micacé plus ou moins calcaire admettant des assises sableuses. Cette unité se marque bien sur les diagraphies de Gamma-ray et de Neutron. Cette unité correspondrait à la partie supérieure de la *Formation de Pont-Labau*, membre des *Marnes d'Artigueloutan* (Sztrakos, 1997).

- Cette unité, déposée à l'Ilerdien inférieur (base de l'Eocène), est présente sur l'ensemble du secteur. Les diagraphies y enregistrent une alternance de marnes à petits bancs de grès avec quelques assises sableuses dans son sommet et sa base. Sa puissance moyenne est de 95 m. Des niveaux localement plus gréso-sableux ont été traversés au milieu et à la base dans les puits PA 1, FPA2 et MZS 1. Cette unité correspondrait à une partie de la *Formation de Pont-Labau*, membre des *Couches de Pillardou* (Sztrakos, 1997).

4.1.6. Paléocène

On y distingue 3 unités

- La petite unité calcaire sommitale du Paléocène, couramment appelée « **Calcaire repère** », rencontrée à partir de –1200m NGF dans tous les puits, se distingue nettement sur les profils de sismique-réflexion et sur les diagraphies Gamma-ray, Neutron et Sonic des puits de l'ensemble du secteur étudié. Elle montre une puissance moyenne de 50 m dans le secteur étudié. Ces calcaires, dénommés *Calcaires supérieurs* (Boltenhagen, 1963; Cavelier et al, 1997) et rapportés au membre des *Calcaires inf. de Houns* (Sztrakos et al, 1998), affleurent 3 km au sud de Gan et à Lasseube. Ils sont constitués par une alternance de calcaire blanc peu cimenté plus ou moins crayeux, de calcaire gréseux microcristallin compact "à mouchetures noires"

et de fins niveaux d'argiles carbonatées silteuses sombres; ces couches contiennent une riche microfaune de foraminifères.

- En dessous existe une unité à dominante marneuse comprenant quelques passées gréseuses ou calcaires elle montre une puissance moyenne de 70 m.

- La formation calcaire dénommée "***Calcaire de Lasseube****",* ou "***Dano-Paléocène***" des études hydrogéologiques régionales, présente une grande continuité régionale. Affleurante le long d'une bande WNW-ESE au sud du secteur étudié, elle est limitée par une ligne de contact discordant et faillé entre les terrains tertiaires et les flyschs crétacés dans laquelle se place le chevauchement nord-pyrénéen. La formation de Lasseube a une puissance moyenne de 75 m sur tout le secteur. Elle est très bien marquée en diagraphies et sur les profils sismiques et est constituée sur le secteur par deux parties d'égale puissance : au sommet des calcaires microcristallins beige plus ou moins gréseux et graveleux alternant avec des calcaires crayeux gris-blanc, surmontant, à la base, des calcaires semblables admettant des niveaux crayo-argileux et de marnes silteuses gris-foncé. L'ensemble contient des petites globigérines.

4.1.7. Crétacé supérieur

- **Maastrichtien – Campanien** : Les terrains crétacés qui n'affleurent qu'au sud du secteur étudié sont surtout constitués par les puissantes séries de flyschs qui ne contiennent aucun niveau significatif de grès pouvant être considéré comme réservoir potentiel. La série se termine par les marnes silteuses grises à ocre rouge de la *Formation de Nay* du Maastrichtien supérieur. Ces marnes surmontent la très puissante série des flyschs du Maastrichtien et celle des flyschs du Campanien dont l'épaisseur totale atteint environ 1000 m. L'ensemble est surtout constitué de marnes imperméables à très nombreux petits bancs de calcaires gris plus ou moins détritiques. Des assises plus carbonatées existent au sommet et à la base.

- **Santonien** : Cette formation est uniquement constituée par des marnes et argilites rencontrées sur la structure de Meillon (Lanot, Mazeres) sur des épaisseurs pouvant dépasser 200 m.

- **Coniacien – Turonien – Cénomanien** (*Formation de Mazères*) : cette formation à dominante carbonatée a une puissance totale variable en fonction des blocs structuraux; elle est plus complète sur le nord du secteur, où elle s'allonge suivant le haut de la structure de Meillon-Saint-Faust. Cette formation, potentiellement aquifère, se retrouve dans les puits MZS-5D, MZS2 et LLT1 à plus de 3000 m, mais pas dans les quatre autres puits plus à l'ouest.

5. Ressources potentielles

Compte tenu des observations précédentes, trois aquifères potentiels devraient exister au droit du campus de l'université dans les premiers 2500 m :

- La terrasse du Mindel en sub-surface
- Le banc de calcaire repère
- Le Dano-Paléocène

Il est possible qu'un quatrième aquifère existe : les niveaux gréso-sableux de la base de l'Eocène. Néanmoins, leur discontinuité sur le secteur étudié ne permet pas de confirmer leur présence sous l'UPPA.

1. LA TERRASSE DU MINDEL

Si le système aquifère du gave de Pau et de ses principaux affluents (l'Ousse en rive droite et dans une moindre mesure la Bayse, les Hiès, le Nez et le Soust en rive gauche) est largement exploité et bien connu, il n'en est pas de même de la terrasse du Mindel plus ancienne. Etagée à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du lit majeur, elle est considérée comme hydrauliquement déconnectée des formations les plus récentes et repose sur un substratum imperméable constitué par les molasses miocènes.

Les forages les plus profonds sur le secteur atteignent 30 m et restent dans les alluvions. Néanmoins, compte tenu de la topographie, il est peu probable que cette formation s'étende sensiblement plus profond. Sous 2.5 à 5 m de terre et d'argiles, la formation est constituée de sable graveleux, argileux surtout dans la moitié haute.

Quelques sondages peu profond permettent de déterminer un niveau d'eau (-4 m dans le secteur de l'université, -3 à -7 m sur Pau). Ces mesures étant ponctuelles et non synchrones, elles ne permettent pas d'établir de carte piézométrique ni de déterminer de sens d'écoulement.

Les seules données concernant l'hydrodynamique et la chimie proviennent des forages de l'hôpital Saint-Luc. Les essais de pompages laissent espérer un débit exploitable d'environ 15 m^3/h. L'eau est acide (pH $\cong$ 6) et ferrugineuse, avec des concentrations en fer de l'ordre de 10 à 13 mg/l ('une analyse indique près de 1.5 g/l). Les températures mesurées vont de 14.5 à 16.3. Il n'est cependant pas exclus, sans connaître le protocole de mesure, que la température réelle soit légèrement plus faible.

Enfin, sur le campus, la terrasse du Mindel est érodée localement par un dépôt d'alluvions plus récentes dont les caractéristiques ne sont pas connues (Figure 6).

Figure 6 Localisation des alluvions récentes sur le campus

5.1. NIVEAU CALCAIRE REPERE ET DANO-PALEOCENE

L'exploitation de cette nappe profonde a déjà été envisagée dans la région. En 2002 et 2003, la Communauté d'agglomération Pau-Pyrénées a commandé une étude sur l'utilisation du forage de LONS1 (10294X0018/LNS1) comme une ressource en eau chaude potentielle pour l'activité thermoludique (Chevalier-Lemire, 2003). Cette étude concluait à la faisabilité de réhabilitation du forage et au potentiel probable de la nappe tout en soulignant la nécessité de validation de la ressource en opérant des tests directs sur l'aquifère du fait des incertitudes sur la productivité, la température et la salinité.

5.1.1. Géométrie

Aucun puits pétrolier n'étant localisé dans le secteur de l'UPPA, la géométrie de ces formations a du être extrapolée à partir des données disponibles. La profondeur et l'épaisseur des deux formations a d'abord été recherchée sur 37 puits (Figure 7).

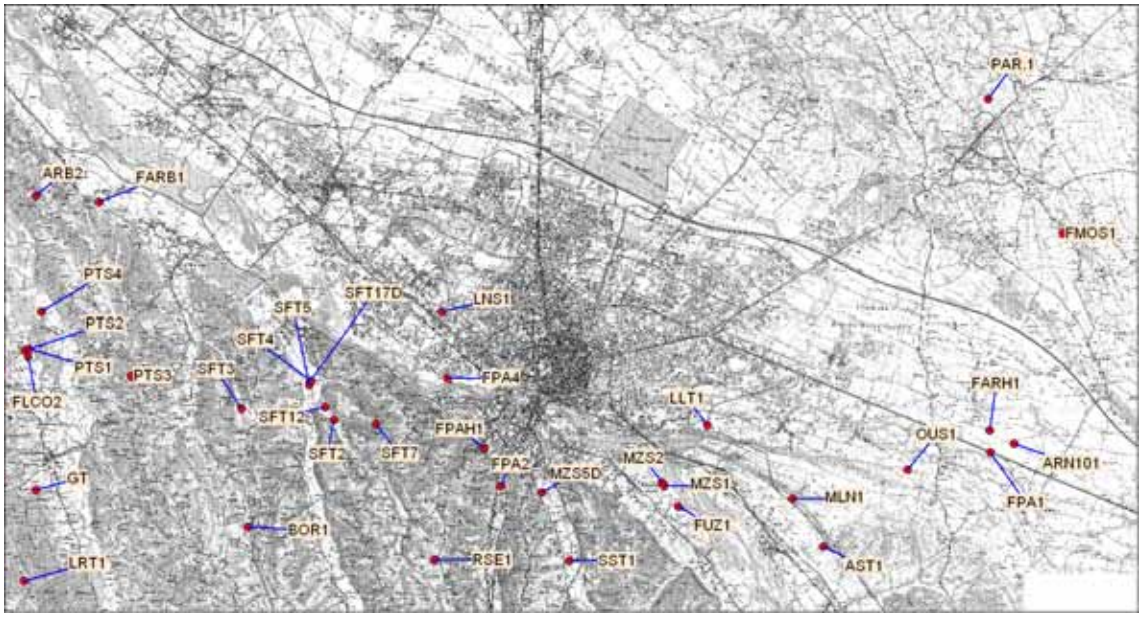


Figure 7 Localisation des puits utilisés pour la détermination géométrique

L'interpolation des données recueillies a ensuite été effectuée en veillant à respecter les structures provenant de l'interprétation des données sismiques pour la base du Tertiaire (Figure 1).

Les Figure 8,Figure 9, Figure 10 et Figure 11 représentent ces résultats.

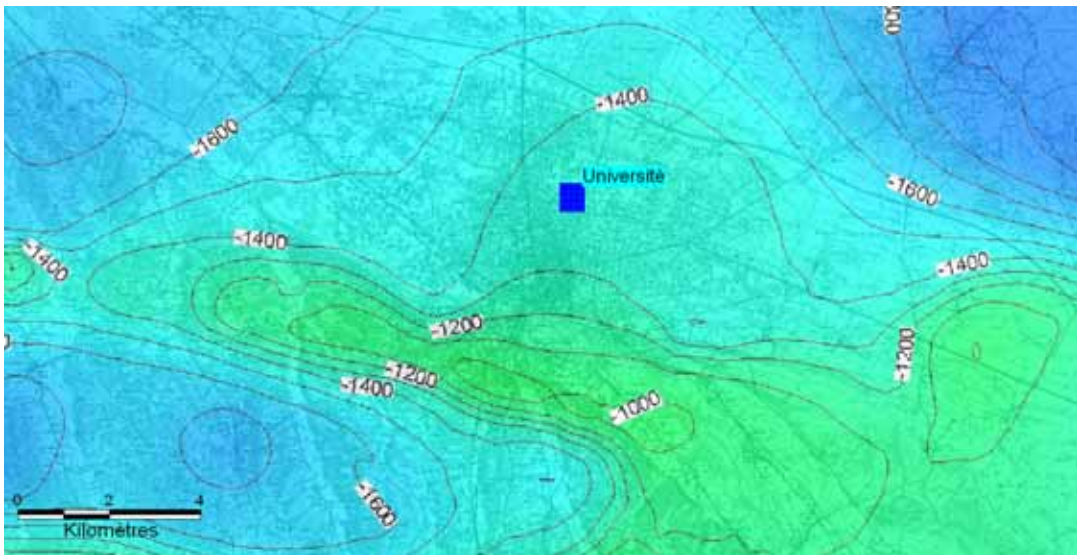


Figure 8 Isohypses du toit du banc de calcaire repère (NGF)

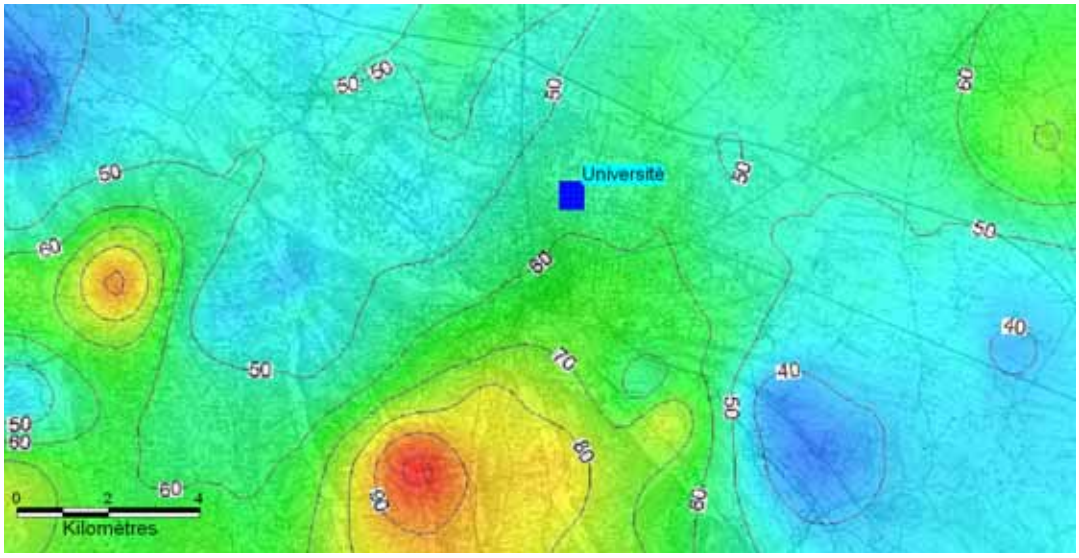


Figure 9 Puissance du banc de calcaire repère (m)

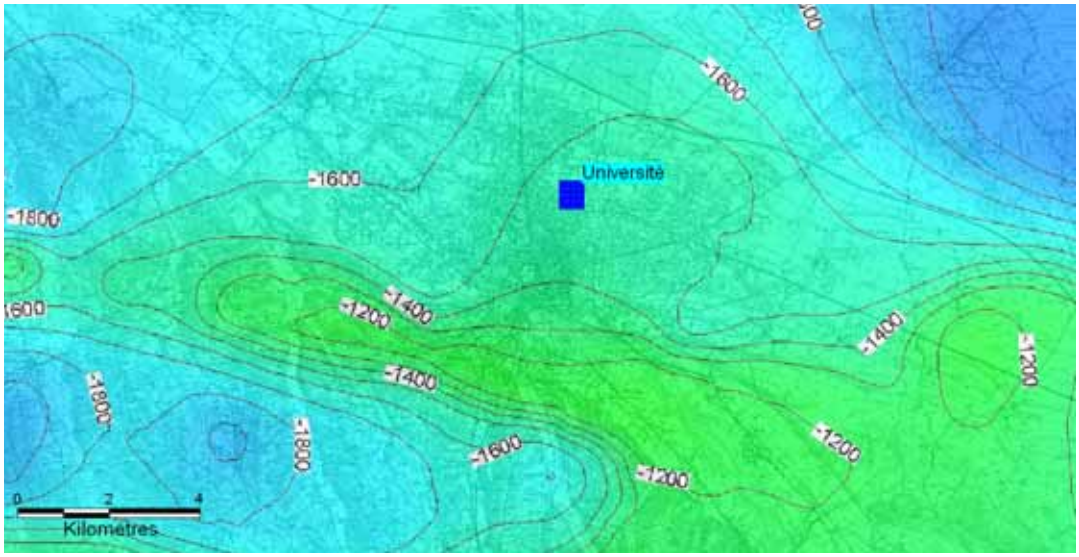


Figure 10 Isohypses du toit du Dano-Paléocène (NGF)

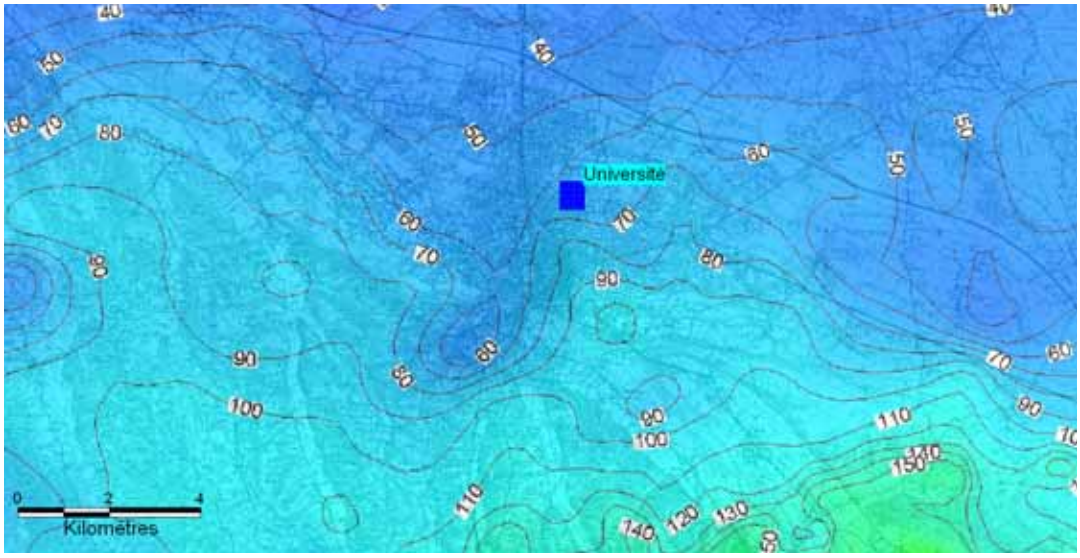


Figure 11 Puissance du Dano-Paléocène (m)

Deux coupes perpendiculaires ont été définies à partir de ces données au droit du campus de l'UPPA (Figure 12 et Figure 13). En tenant compte de la topographie, le banc de calcaire repère serait sous l'université à une profondeur de 1580 m avec une puissance de 55 m et le Dano-Paléocène à une profondeur de 1700 m avec une puissance de 65 m. Il convient toutefois de rester prudent, ces valeurs résultant d'une interpolation dans une zone de lacune de données. En particulier, les puissances ne sont pas contraintes au nord de Pau.

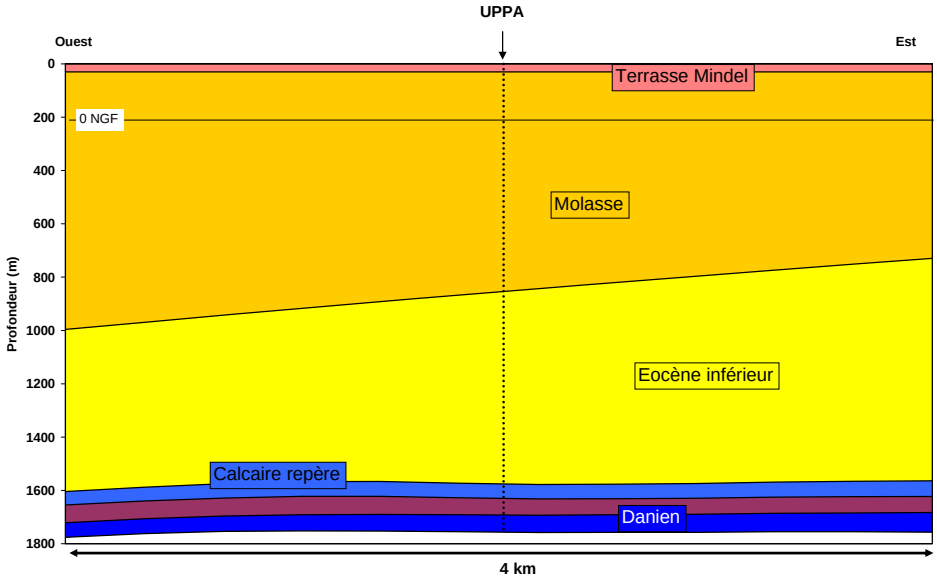


Figure 12 Coupe Ouest-Est au droit de l'UPPA

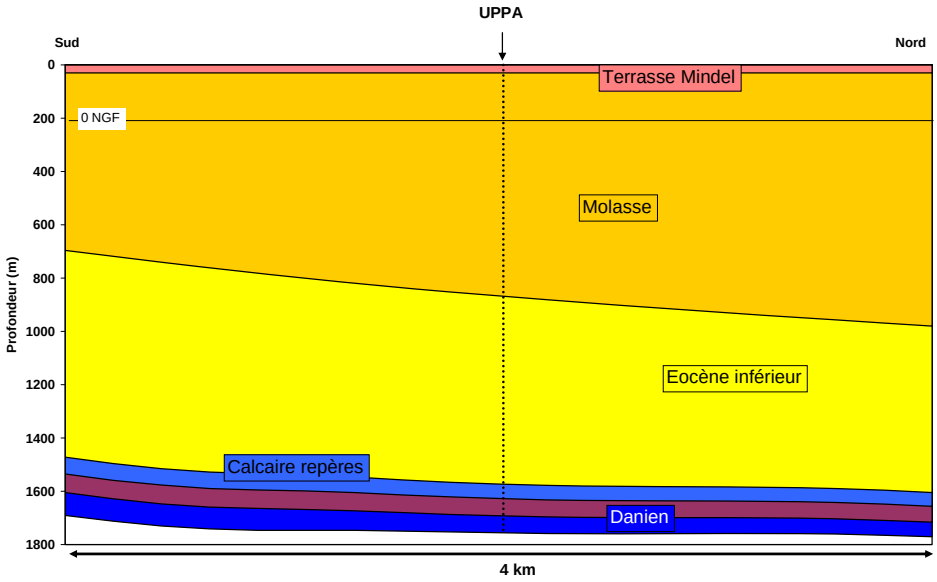


Figure 13 Coupe Sud-Nord au droit de l'UPPA

5.1.2. Nappe du calcaire repère

Cet aquifère potentiel n'est capté par aucun forage d'eau dans le secteur d'étude ou à proximité.

Quelques tests hydrauliques ont été effectués dans les puits pétroliers sur cette formation (PAH 1, PA 1) mais les résultats obtenus ne permettent pas d'estimer de manière fiable la pression au sein du réservoir.

La salinité de l'eau a été estimée par interprétation de diagraphies (polarisation spontanée) entre 3 g/l et 6 g/

5.1.3. Nappe du Dano-Paléocène (Calcaire de Lasseube)

Ce réservoir calcaire, appelé localement "Calcaire de Lasseube", présente une grande continuité locale et régionale. Dans le référentiel des masses d'eau, cet aquifère est actuellement rattaché à la masse d'eau 5082 (sables, calcaires et dolomies de l'Eocène-Paléocène captif du sud Adour-Garonne) avec l'aquifère des sables infra-molassiques et des grès à nummulites. Ces deux entités, nettement individualisées hydrogéologiquement, seront distinguées lors de la prochaine actualisation du référentiel.

Dans le secteur d'étude, cette formation est séparée des réservoirs potentiellement aquifères sous-jacents par les marnes de Nay et les flyschs du Crétacé supérieur terminal, l'ensemble étant puissant de plusieurs centaines de mètres.

L'ouvrage captant le Dano-paléocène le plus proche du campus de l'UPPA se trouve à Lannecaube (10052X0038/F) situé cependant à une vingtaine de kilomètres au nord-est de Pau. Ce forage capte la formation de 762 à 931.6 m, soit une puissance de 169.6 m. Un test de pompage y a déterminé une transmissivité de $8 \cdot 10^{-4}$ m^2/s. Si l'on rapporte cette transmissivité à la puissance sous le campus (65 m), cela donnerait $3 \cdot 10^{-4}$ m^2/s. Une telle extrapolation n'a pas de valeur prédictive, néanmoins, si on la rapporte aux perméabilités mesurées à moindre profondeur sur cet aquifère dans d'autres secteurs, de 2.10^{-6} m/s le long du front nord-pyrénéen à $5 \cdot 10^{-5}$ m/s dans le secteur d'Audignon, cela permet d'espérer un débit exploitable supérieur à 100 m^3/h.

Du point de vue de la température, une extrapolation du gradient géothermique laisse supposer une température de l'ordre de 65°C. Cependant la température à Lannecaube (43.5°C) se trouve une dizaine de degrés au delà de ce que prédirait le gradient géothermique. Il est donc possible que la température au droit de l'UPPA atteigne ou même dépasse légèrement 70°C.

Dans le secteur d'étude, l'eau de l'aquifère présente un faciès saumâtre d'après les estimations basées sur l'interprétation des diagraphies de polarisation spontanée, avec une salinité comprise entre 3 et 12 g/l. En dehors du chlorure de sodium la composition de l'eau reflète probablement l'équilibre vis-à-vis des minéraux carbonatés en place. Les risques de précipitation significatives sont donc liés aux éventuels dégazages de CO_2 lors de la dépressurisation du fluide accompagnant la remontée du fluide ou son passage dans les échangeurs. En effet, la perte de CO_2 entraine une diminution de l'acidité du fluide et la précipitation de carbonates.

En tout état de cause, seul un forage de 1800 m environ sur le secteur permettrait de lever les doutes concernant les débits exploitables et la température.

6. Conclusion

L'étude des données disponibles a permis de définir avec une bonne fiabilité la géologie des terrains allant de la surface jusqu'à plus de 2500 m.

Cela a permis d'identifier trois aquifères exploitables, l'aquifère superficiel de la terrasse du Mindel, le banc de calcaire repère et le Dano-Paléocène. Pour les deux derniers, une extrapolation des données de profondeur disponibles dans la région a été effectuée pour tenter d'en reconstruire la géométrie au droit du campus.

- La terrasse du Mindel, présente de 5 à 30 m de profondeur, pourrait fournir un débit de 15 m^3/h d'eau ferrugineuse à 15°C.

- Le banc de calcaire repère est présent de 1600 à 1655 m. Aucune donnée permettant de définir ses caractéristiques hydrodynamiques n'a été trouvée.

- Le Dano-Paléocène s'étend de 1700 à 1765 m. En extrapolant ses propriétés aquifères depuis le plus proche captage, à 20 km, il possible d'espérer des débits exploitables supérieurs à 100 m^3/h. La température de l'eau se situerait au dessus de 65°C.

Le Dano-Paléocène semble constituer une ressource géothermique potentiellement exploitable, néanmoins seul un forage dans le secteur concerné permettra de valider les hypothèses émises sur ses caractéristiques.

7. Références bibliographiques

Benhammouda S., Rigaill M., Schoen R, Sourisseau B., Tilloloy F. (2001) – Surveillance des systèmes aquifères des sables infra-molassiques et paléocènes en régions Aquitaine et Midi-Pyrénées - Etat des connaissances et suivi piézométrique à fin 1999. Rapport BRGM/RP-50322-FR, 39 p. et annexes

Biteau J.J, Le Marrec A., Le Vot M., Masset J.M. (2006) - The Aquitaine basin. *Petroleum Sciences*, 2006, Vol. 12, p. 247-273

Bourgine B., Capdeville JP., Lachassagne P., Schoen R., Seguin JJ., Sourisseau B. (1999) - Outil de gestion des systèmes aquifères du sud du bassin Adour-Garonne – Base de données géoréférencées et modèle conceptuel. Rapport BRGM R 40633, 39 p., 29 fig. et annexes

Bourgine B., Capdeville JP., Razin P., Sourisseau B., Vairon J. (1997) - Outil de gestion des systèmes aquifères du sud du bassin Adour-Garonne -Concept géologique et hydrogéologique. Rapport BRGM R 39538, 120 p. et annexes

Cavelier C., Fries G., Lagarigue J.L., Capdeville J.P. (1997) - Sédimentation progradante au Cénozoïque inférieur en Aquitaine méridionale. *Géologie de la France,* 1997, n° 4, p. 69-79

Chevalier-Lemire G. (2003) – Etude de faisabilité technique et économique d'un centre thermoludique alimenté à partir d'eau souterraine profonde sur la commune de Lons (64). Rapport ANTEA A 28985/B, 58 p.,8 fig.

Delfaud J., Pailhe P., Thomas G. (1982) – Carte géologique de la France, feuille *Morlaas* (1030) et notice explicative, 24 p., BRGM Editions.

Housse B., Maget Ph. (1977) – Potentiel géothermique du bassin aquitain. *Rapport BRGM – SNEA-P (contrat DGRST- 76.7-1332)*, 167 p., 38 planches., 4 annexes

Schoeffler J., Debourle A., Fourmentraux J., Henry J., Alimen H. et Crouzel F. (1963) – Carte géologique de la France, feuille *Pau* (1029) et notice explicative, 6 p., *Service de la Carte Géologique de France*.

Schoen R., Seguin JJ., Sourisseau B. (2000) - Outil de gestion des systèmes aquifères du sud du bassin Adour-Garonne - Année 3 – Modèle hydrodynamique – Etape de calage en régime permanent. Rapport BRGM/RP-50241-FR, 37 p., 39 fig. et annexes

Seguin JJ. (2003) - Outil de gestion des aquifères du sud du bassin Adour-Garonne - Année 4 – Calage du modèle hydrodynamique en régime transitoire. Rapport BRGM/RP-52041-FR, 61 p., 15 fig. et 4 annexes

Serra-Kiel J., Hottinger L., Caus E., Drobne K., Ferrandez C., Jauhri A.K, Less G., Pavlovec R., Pignatti J., Samsó J.M., Schaub H., Sirel E., Strougo A., Tambareau Y., Tosquella J. et Zkrevskaya E. (1998) **–** Larger Foraminiferal biostratigraphy of the Tethyan Palaeocene and Eocene. *Bull. Soc. Géol. France*. t. 169, n°2, pp. 281-299

Serrano O. (2001) - Le Crétacé supérieur – Paléogène du bassin compressif nord-pyrénéen (bassin de l'Adour). Sédimentologie, stratigraphie, géodynamique. Thèse d'Université, Univ. Rennes 1, 175 p.

Serrano O., Delmas J., Hanot F., Vially R., Herbin J.P., Houel P., Tourliere B. (2006) – Le Bassin d'Aquitaine : valorisation des données sismiques, cartographie structurale et potentiel pétrolier. Editions BRGM, 245 p., 142 fig., 17 tab., 17 annexes

Sztrakos K., Gely J.P., Blondeau A., Muller C. (1997) - Le Paléocène et l'Ilerdien (p.p.) du Bassin sud-aquitain : lithostratigraphie, biostratigraphie et analyse séquentielle. *Géologie de la France*, 1997, n° 4, p. 27-18

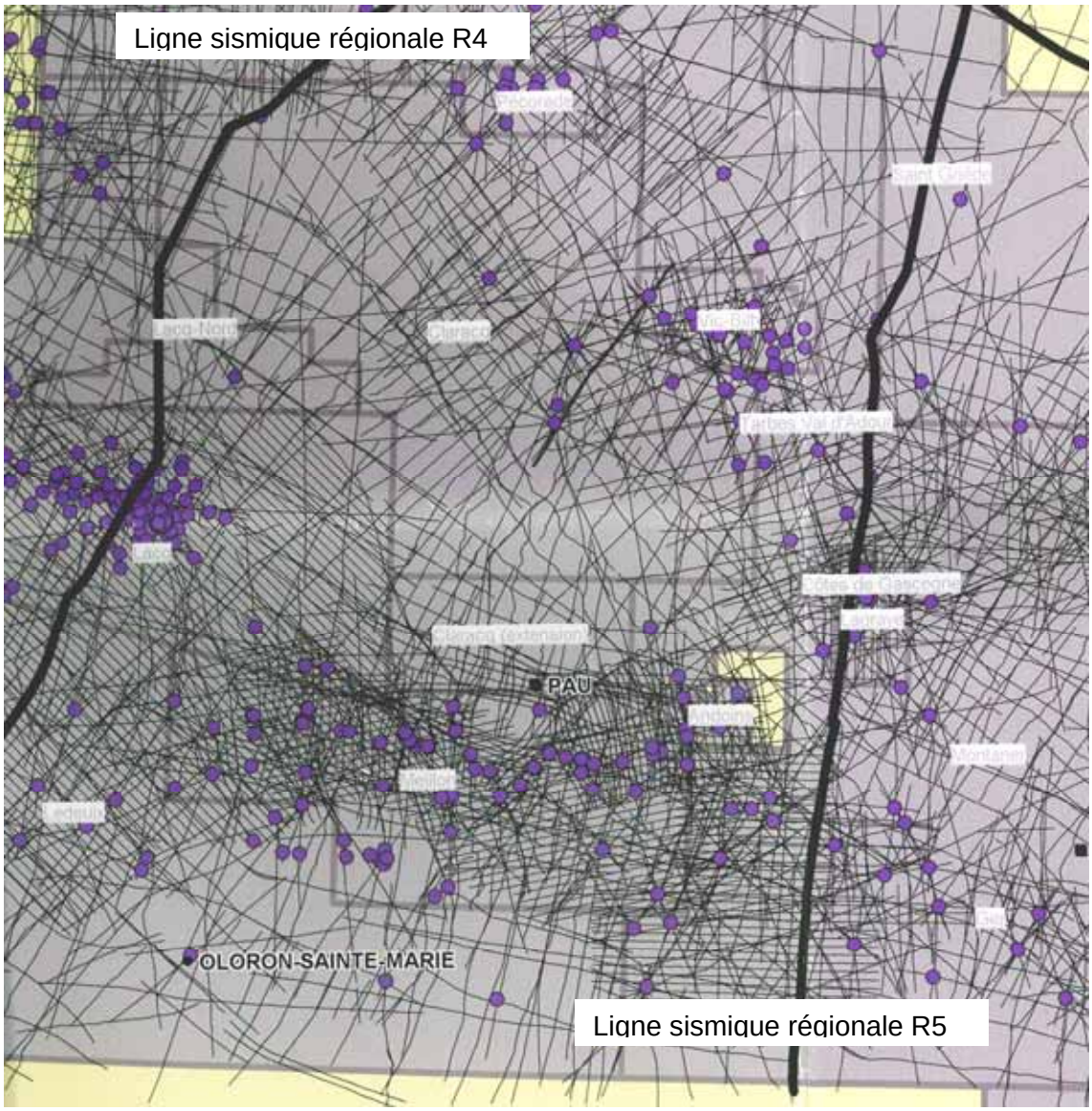
Sztrakos K., Gely J.P., Blondeau A., Muller C. (1998) - L'Eocène du Bassin sud-aquitain : lithostratigraphie, biostratigraphie et analyse séquentielle. *Géologie de la France*, 1998, n° 4, p. 57-105

Rapports de fin de sondage d'exploration et d'exploitation d'hydrocarbures des champs de Meillon, Rousse, Saint-Faust, Pont d'As, etc …

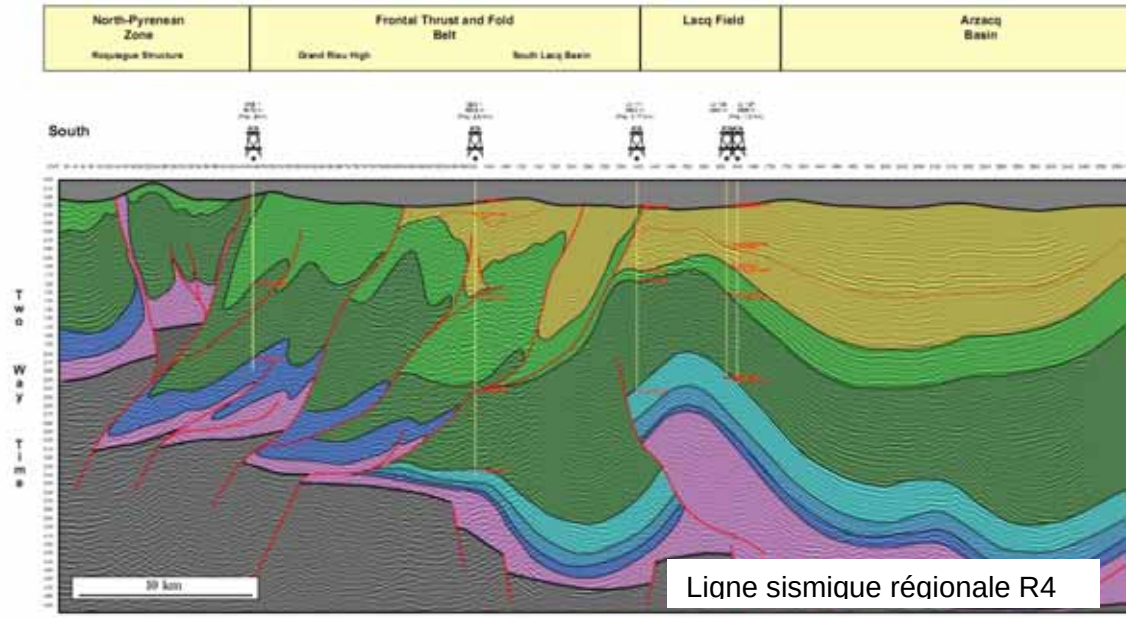
Annexe 1
Liste des Forages étudiés

Indice BSS	Désignation	X RGF93	Y RGF93	Profondeur (m)
10293X0001	FARB1	416211.53	6253961.65	2227
10293X0002	FLCO2	414637.48	6250604.22	1485
10293X0005	PTS1	414658.92	6250769.87	5064
10293X0006	ARB2	414838.3	6254108.81	6200
10293X0007	PTS4	414942.12	6251562.74	5537
10293X0008	PTS2	414565.66	6250730.73	5170
10293X0009	PTS3	416898.42	6250151.05	5233
10294X0001	FPA4	423798.01	6250034.3	3347
10294X0015	SFT4	420820.1	6250007.86	5150
10294X0016	SFT5	420784.36	6249918.34	4146
10294X0018	LNS1	423692.15	6251486.72	6160
10294X0068	SFT17D	420802.06	6250007.98	5154
10297X0008	SFT3	419302.78	6249416.05	5336
10297X0009	BOR1	419413.29	6246819.94	5581
10297X0011	LRT1	414508.02	6245662.63	5119
10297X4002	GT	414778.28	6247671.13	5048
10298X0004	FPA2	424945.33	6247671.35	2198
10298X0005	FPAH1	424603.69	6248515.39	1334
10298X0008	SFT2	421317.51	6249147.71	4833
10298X0009	RSE1	423488.37	6246054.53	5215
10298X0011	SST1	426438.14	6246014.82	5724
10298X0012	SFT7	422216.69	6249054.33	4950
10298X0020	SFT12	421120.09	6249440.1	4622
10298X0028	MZS5D	425841.22	6247529.19	4913
10302X0001	FMOS1	437286.97	6253094.81	4304
10302X0006	PAR.1	435667.2	6256062.16	2881
10305X0001	FUZ1	428823.21	6247182.9	1470
10305X0004	MZS1	428527.3	6247645.94	3425
10305X0005	MZS2	428473.07	6247732.28	5143
10305X0006	AST1	431996.38	6246276.69	5421
10305X0008	MLN1	431331.84	6247339.14	5172
10305X0009	OUS1	433839.22	6247964.88	5664
10305X0010	LLT1	429481.28	6248982.63	5378
10306X0001	FSH1	434607.35	6246135.43	1010
10306X0002	FPA1	435659.25	6248327.39	4133
10306X0004	FARH1	435638.15	6248798.03	1373

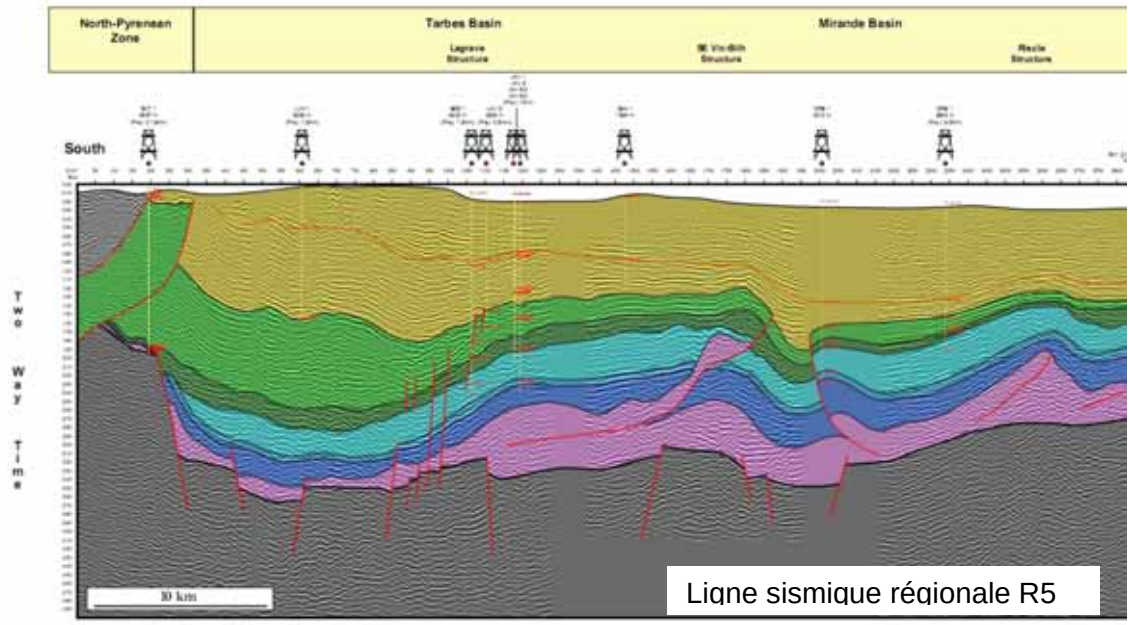
Annexe 2
Localisation des lignes sismiques



Localisation des lignes sismiques dans la région de Pau



Interpretation : O. Serrano (BRGM), Roland Vially (IFP) et Jocelyne Delmas (IFP)
North Pyrenean and Frontal Fold and Thrust Belt Zones inspired from EAP (1994) : Gisements des bassins aquitains. Base de données géologiques et pétrolières



Interpretation : O. Serrano (BRGM) and Roland Vially (IFP)
North Pyrenean and Frontal Fold and Thrust Belt Zones inspired from EAP (1994) : Gisements des bassins aquitains. Base de données géologiques et pétrolières

Interprétation des données sismiques le long des lignes régionales R4 et R5 (Serrano et al., 2006)

Deuxième partie :

Campus de Pau
Etude de préfaisabilité de production de chaleur par géothermie

UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

BRGM AQUITAINE
24, avenue Léonard de Vinci
Parc Technologique Europarc
33600 PESSAC France

CAMPUS DE PAU

ETUDE DE PREFAISABILITE DE PRODUCTION DE CHALEUR PAR GEOTHERMIE

Rapport 09 CFG 042

Affaire n° PGC 09 013

Août 2009

cfg services
Avenue Claude Guillemin - B.P. 6429
45064 ORLEANS CEDEX 2 France

QUALITE

N° affaire : PGC 09 013	N° rapport : 09 CFG 042

Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
N. MONNEYRON	P.DESMIS	E.LASNE

REVISION

Indice	Date	Chapitre	Modification
A	29/07/2009	-	Version d'origine
B **C** **D** **E** **F**			

CLIENT

PIERRE DURST

BRGM AQUITAINE
24 avenue Léonard de Vinci Parc Technologique Europarc
33600 PESSAC
Tél. : 01 69 00 11 15 – Fax : 01 69 00 11 23

Diffusion

4 exemplaires : Pierre DURST

SOMMAIRE

1 CONTEXTE ET OBJET DU DOCUMENT 53

1.1 Contexte et objectifs de l'étude de préfaisabilité 53

1.2 Description du site 54

1.3 Données climatiques 54

2 RECUEIL DES DONNEES ENERGETIQUES DE SURFACE 55

2.1 Description technique 55
2.1.1 Les chaufferies 55
2.1.2 Fonctionnement hydraulique et régulation 56

2.2 Etude des consommations 58
2.2.1 Estimation des consommations récurrentes (ECS et Salles Blanches) 58
2.2.2 Estimation des consommations propres au chauffage des locaux 59
2.2.3 Bilan de consommation moyenne annuelle 59

2.3 Etude des besoins en puissance 60

3 GEOLOGIE HYDROGEOLOGIE DE LA RESSOUCE GEOTHERMIQUE 62

3.1 Contexte géologique global 62

3.2 Géologique prévisionnelle (source BRGM) 63

3.3 Hydrogéologie (source BRGM) 63
3.3.1 Aquifère de la terrasse de MINDEL 63
3.3.2 Aquifère du Paléocène 64

4 CONDITIONS REGLEMENTAIRES D'ACCES A LA RESSOURCE GEOTHERMIQUE 66

4.1 Cadre général imposé par le Code Minier (article 3) 66

4.2 Demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique 67

4.3 Permis d'exploitation existant et périmètres concernés 67

5 DISPOSITIFS DE MOBILISATION DE LA RESSOURCE 68

5.1 Conception de la boucle géothermique 68

5.2 Emprise au sol pour la réalisation de forages neufs 69

6 SOLUTION TECHNIQUE DE LA CENTRALE DE PRODUCTION GEOTHERMIE 70

6.1 Le réseau de chaleur 70

6.2 Régime de température du réseau 71

6.3 La production de chaleur 71

6.3.1 Descriptif sommaire de la solution (préfaisabilité) 71

6.3.2 Système d'appoint et de secours 72

7 BILAN ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX 73

7.1 Couverture des besoins en chaleur par la géothermie 73

7.1.1 Scénario 1, conservateur 73

7.1.2 Scénario 2, optimiste 74

7.1.3 Scénario 3 : hybridation de la production (échange direct +PAC) 75

7.1.4 Scénario 4, réseau de chaleur géothermique « Type » 76

7.2 Bilan environnemental simplifié du projet pour l'UPPA 79

8 LES ESTIMATIONS ECONOMIQUES 80

8.1 Les coûts d'investissements 80

8.1.1 Les forages 80

8.1.2 Les équipements de la centrale géothermique 81

8.1.3 Le réseau de chaleur et le bâtiment central de production 81

8.1.4 Bilan des investissements 82

8.2 Coûts de fonctionnement de la géothermie 82

8.3 Financements, subventions et couverture du risque géologique 84

8.3.1 Financements et subventions 84

8.3.2 Garanties géologiques 85

8.4 Synthèse économique 86

8.4.1 Tableau de synthèse et hypothèses 86

8.4.2 Bilan sur la production de chaleur uniquement 86

Liste des graphes

Figure 1 : Périmètre d'étude (en vert) 54
Figure 2 : Estimation de la courbe monotone des besoins de l'UPPA 60
Figure 3 : Schéma du Bassin Aquitain (source BRGM) 62
Figure 4 : Coupe géologique Est-Ouest au droit de l'UPPA 63
Figure 5 : Sites possibles d'implantation 69
Figure 6 : Couverture énergétique avec 100 m3/h sur le doublet 73
Figure 7 : Couverture énergétique avec 150 m3/h 74
Figure 8 : Couverture énergétique avec 100 m3/h et PAC 75
Figure 9 : Couverture des besoins d'un réseau ''Type'' avec 125 m3/h et PAC 76
Figure 10 : Consommateurs de chaleur au Nord de l'université 77
Figure 11 : Consommateurs de chaleur au Sud de l'université 78
Figure 12 : Récapitulatif des investissements et hypothèses de subventions 85

Liste des tableaux

Tableau 1 : Puissances installées sur les chaufferies étudiées 56
Tableau 2: Consommation mensuelles de chaleur de l'université en 2008 59
Tableau 3 : Estimation des puissances maximum appelées par bâtiment 61
Tableau 4 : Caractéristiques des calcaires repères (source BRGM) 64
Tableau 5 : Caractéristiques de la nappe du Dano-paléocène (source BRGM) 64
Tableau 6 : Synthèse des puissances récupérables sur l'échangeur géothermique 72
Tableau 7 : Bilan énergétique et environnemental 79
Tableau 8 : Récapitulatif des estimations d'investissements 82
Tableau 9 : Synthèse économique simplifiée 87

Synthèse

Cette étude est réalisée à la demande du BRGM (SGR Aquitaine) dans le cadre de l'étude de préfaisabilité d'une opération géothermique sur le site de l'Université de Pau - Pays d'Adour (UPPA - 64).

L'objet de ces travaux consiste en une approche technique et économique sommaire de l'utilisation de la géothermie selon les caractéristiques de la ressource géothermique au droit du site et des besoins en chaleur recensés. Cette étude s'inscrit dans une réflexion sur la réalisation d'un forage exploratoire sur le site ainsi que la réfection de certaines chaufferies ayant plus de trente ans.

Les investigations effectuées portent principalement sur l'aquifère ''basse énergie'' sélectionné par le BRGM : ***le Dano-paléocène***. Le choix s'est porté sur cet aquifère en raison de son potentiel géothermique probable permettant l'intégration à un système de réseaux de chaleur à créer sur le site entre toute les chaufferies. Compte-tenu du faible débit prévisionnel donné par le BRGM à ce stade préliminaire de la réflexion (de 100 à 150 m^3/h), pour une température de fond de forage comprise entre 65 et 70°C, l'optimisation de la valorisation thermique sera primordiale pour que le projet ait une pertinence économique.

Pour appréhender les besoins en chaleur de l'UPPA, une étude a été réalisée sur les consommations de gaz, en comparaison à la rigueur climatique moyenne du site sur les 10 dernières années. Il est ensuite déduit une hypothèse de puissance thermique nécessaire à l'approvisionnement en chaleur des chaufferies considérées sur le périmètre d'étude.

Après avoir décrit sommairement le réseau de chaleur à créer, les apports possibles de la géothermie sont précisés suivant plusieurs scénarios envisageant une valorisation des calories géothermales par échange direct ainsi que par l'ajout de pompes à chaleur haute température (PAC) afin de maximiser la puissance prélevée sur le doublet géothermique.

Sur la base d'un schéma de référence, qui prévoit la remise en état de quelques chaufferies du site, des estimations de l'investissement complémentaire à réaliser pour chaque scénario ont été effectuées. Il est pris en compte ***un taux de subvention maximum pour ce projet,*** respectant l'encadrement de la Communauté Européenne pour un investisseur privé (60%) dans le cas par exemple d'un montage juridique en PPP (Partenariat Public – Privé).

Les coûts rapportés au MWh utile produit pour la solution de référence (situation actuelle avec chaufferies gaz décentralisées) seraient d'envion 60€/MWh utiles. Quelque soit le scénario de production envisagé, ***la solution géothermique pour l'UPPA seule, conduit à un prix de revient de la chaleur deux fois plus élevé***.

Il s'avère que, ***les besoins en chaleur de l'UPPA sont très faibles*** pour envisager un projet de géothermie profonde, la mise en place de pompes à chaleur décentralisées sur un aquifère superficiel (inférieur à 100 mètres) comme solution de base serait donc plus adaptée.

Pour autant, il existe de nombreux autres consommateurs de chaleur à proximité de l'UPPA. Pour que le projet géothermique profond ait une pertinence économique, il serait nécessaire que les consommations annuelles de chaleur ***soient multipliées par quatre,*** par rapport au périmètre actuel.

Un scénario, purement fictif de profil de consommation, a été élaboré afin de montrer que ***le projet géothermique basse énergie peut être pertinent,*** sous réserve d'intégrer de nombreux autres consommateurs de chaleur en recherchant prioritairement des centres aquatiques et des logements ayant des besoins de chaleur, même en été (production d'ECS).

Le préalable à toute poursuite de réflexion sur ce projet géothermique basse énergie est de ***rechercher d'autres ''partenaires'' pouvant augmenter la valorisation thermique*** afin d'améliorer le projet, aussi bien sur un plan économique (amortissement de l'investissement réparti sur plus de consommation), que sur un plan fiscal (TVA à 5,5%).

Cette recherche de consommateurs de chaleur potentiels dans un rayon de 2 à 3 km autour de l'université devra être menée par un bureau d'études spécialisé dans la valorisation de la géothermie permettant de cibler les bâtiments les plus pertinents à raccorder sur le réseau géothermique, en fonction du profil des besoins. Pour que cette étude puisse se dérouler dans les meilleures conditions possibles, un appui de la puissance publique notamment de la Mairie sera indispensable (mobilisation des promoteurs immobiliers, cadastre, passage de voirie,…)

Enfin, une étude de faisabilité sur le nouveau périmètre de consommateurs devra être effectuée par un groupement de bureaux d'études compétents (sous-sol, thermique, chimie, forage, équipements,..) afin de valider le bien fondé d'un projet s'appuyant sur le périmètre ainsi défini.

1 CONTEXTE ET OBJET DU DOCUMENT

1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DE PREFAISABILITE

L'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) envisage d'utiliser la géothermie pour le chauffage des bâtiments situés sur le campus de Pau. Une étude de préfaisabilité est nécessaire pour conforter cette démarche qui pourrait s'orienter, si le potentiel géothermique est favorable, vers la recherche dans le voisinage de partenaires-consommateurs prêts à souscrire au principe de développement durable.

Les ressources géothermales qui définissent le potentiel géothermique ont été inventoriées et étudiées par le Service Géologique du BRGM.

Ce document est le résultat d'un des volets de l'étude, dont l'objectif est de définir une enveloppe budgétaire d'investissement nécessaire à la réalisation des ouvrages d'exploitation des ressources géothermales, pouvant répondre aux besoins énergétiques thermiques du campus de Pau.

Le document traite principalement des thèmes suivants :

- Recueil des données énergétiques de surface,
- Estimation des consommations moyennes annuelles et des puissances appellées,
- Caractéristiques des ressources géothermales,
- Les démarches administratives et réglementaires,
- Principe d'utilisation de la chaleur géothermale,
- Le bilan environnemental,
- Principe des subventions et de garanties du projet,
- Etudes économiques,
- Synthèse.

L'étude de préfaisabilité doit permettre d'effectuer une estimation de l'adéquation entre les ressources géothermiques disponibles au droit du site et les besoins thermiques.

Cette estimation permettra de quantifier les économies d'énergies qui pourraient être réalisées par la mise en place de systèmes énergétiquement plus efficaces et d'énergies renouvelables. Il convient, de décrire ces solutions et donner une première approche du coût de mise en œuvre et du temps de retour.

A noter que, cette première approche permettra uniquement de recenser les obstacles possible au projet.Une étude de faisabilité plus complète, envisageant l'ensemble des différents scénarios, devra être réalisée par la suite.

1.2 DESCRIPTION DU SITE

Les bâtiments du campus de Pau concernés par le projet, sont répartis sur 7.5 ha et sont regroupés en 14 sous-stations de chauffage.

La Figure 1 définit le périmètre d'étude du projet sur le site, propriétés de l'UPPA (en vert). L'Annexe 1 permet de visualiser l'implantation des bâtiments et des chaufferies concernés.

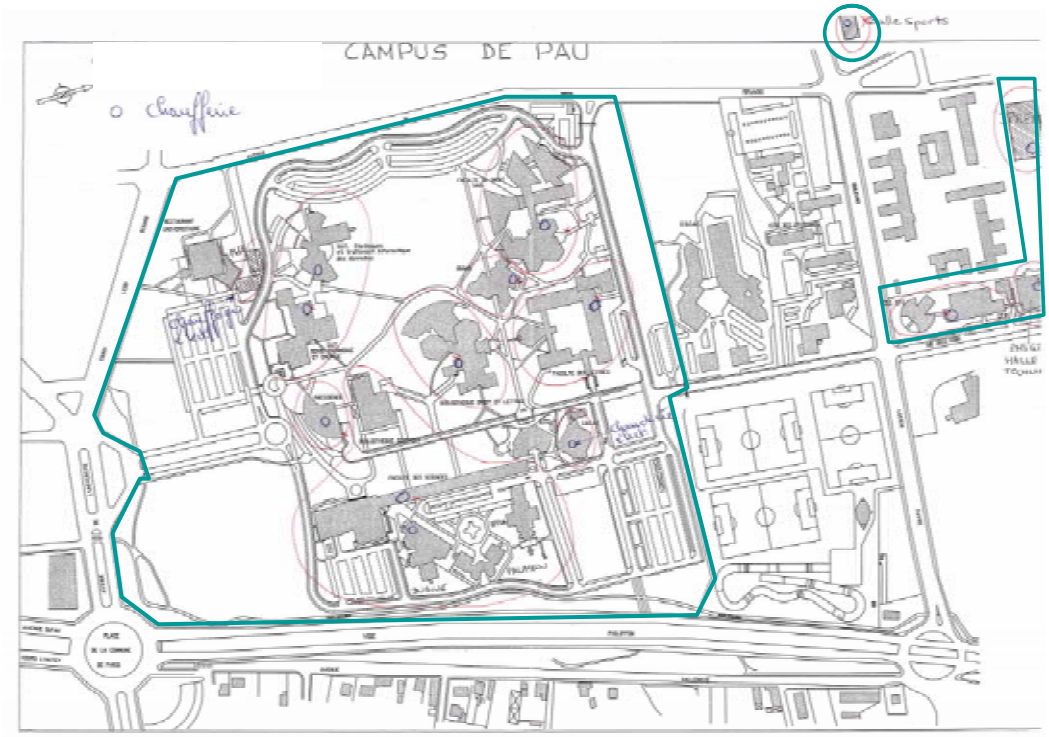
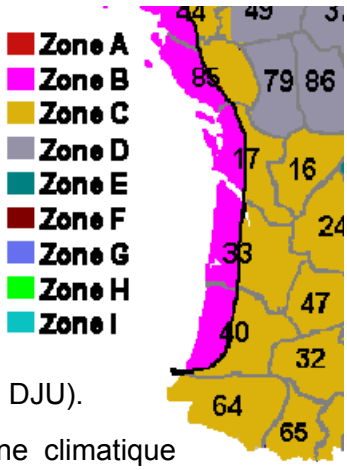


Figure 1 : Périmètre d'étude (en vert)

1.3 DONNEES CLIMATIQUES



Afin d'évaluer les besoins en chauffage sur le site, dans la suite de l'étude, il est nécessaire de définir la climatologie du lieu.

Le site se situe à une altitude d'environ 200 mètres NGF.

L'Aéroport de Pau possède une station de mesure ''Météo France'' permettant de suivre les conditions climatiques en continu. L'étude menée sur dix ans de données fournies par Météo France, conclut à une rigueur climatique moyenne de 1755 DJU (pour une période de chauffe du 20 octobre au 15 mai). Une étude plus poussée, permettrait d'affiner cette moyenne sur trente ans de mesures (norme DJU).

La température extérieure de référence est définie pour cette zone climatique (Zone C), en marron sur la figure de droite. A l'altitude considérée, la température extérieure de base est de -5°C. Cette valeur sera utilisée par la suite dans les calculs.

2 RECUEIL DES DONNEES ENERGETIQUES DE SURFACE

L'étude des besoins ou de ''surface'' est la première étape d'une étude géothermique. Elle consiste à recenser le potentiel des consommateurs de chaleur en différenciant les usages : chauffage, eau chaude sanitaire, etc…

L'objectif de la préfaisabilité est d'évaluer la quantité de besoin en chaleur pouvant être couvert par la géothermie et se substituer à l'achat d'énergies fossiles. Par la suite, si la poursuite du projet est décidée, une étude de faisabilité viendra appréhender les optimisations possibles et leurs coûts.

Le périmètre d'étude est défini pour l'ensemble des bâtiments de l'université de Pau dont les données ont été transmises par les services techniques.

2.1 DESCRIPTION TECHNIQUE

Les locaux de l'université de PAU représentent une surface d'environ ***83 000 m^2 de SHON*** et accueillent des bureaux administratifs, des salles de cours ainsi que des bâtiments de services (bibliothèque, restaurant universitaire, gymnase…).

La surface chauffée représente environ 75 000 m^2 de SHON avec une température de consigne dans les locaux est comprise entre 19 à 21°C suivant les activités et un réduit de température la nuit de 15 à 16°C.

2.1.1 Les chaufferies

On recense ***14 chaufferies*** sur le site, toutes alimentées par du gaz sauf une, possédant une chaudière électrique (IBEAS). Les puissances installées sont listées dans le Tableau 1.

On totalise 13 136 kW de puissance thermique installée assurant la fourniture en chaleur.

La puissance installée a fait l'objet de surdimensionnement afin de couvrir les besoins en chaleur en toute circonstance ainsi que le secours en cas de panne d'une des chaudières ; elle ne correspond donc pas à la puissance maximum réellement appelée par les bâtiments à la température extérieure de base (-5°C).

Les installations fonctionnent sur une période de chauffe donnée qui diffère en fonction de l'occupation de chaque bâtiment et sont arrêtées en été. En première approche, il est pris en hypothèse une période de chauffe commençant le 20 octobre et se terminant le 15 mai.

Nom bâtiment chaufferie	Puissance chaudière n°1 (kW)	Puissance chaudière n°2 (kw)	Puissance chaudière n°3 (kW)	Puissance chaudière n°4 (kW)	Total par site en kW
Présidence	116	116			232
UFR Sciences	595	595	595	713	2498
UFR Lettres	800	800			1600
UFR Droit	977	977			1954
IFR	460	460			920
BUDL	720	580			1300
Duboué	400	400			800
ENS GTI	400	400			800
IRSAM	122	114			236
IUT STID	110	112			222
IUT GTE	110	115			225
Halle Sports	400	400			800
IBEAS	90				90
IPRM	700	700	59		1459

Tableau 1 : Puissances installées

La majorité des chaufferies possèdent les chaudières d'origine, ayant plus de trente ans dont certaines devront être remplacées. Même s'il s'agit de chaufferies de forte puissance, leur rendement énergétique est médiocre compte-tenu de leur âge. Une hypothèse de 85% de rendement est utilisée dans la suite des calculs pour les chaufferies anciennes et 90% pour les plus récentes.

Les chaufferies sont majoritairement installées en sous-sol pour lesquelles les percées de bâtiments et la réalisation de sous-stations d'échange pour un réseau de chaleur géothermique ne devraient pas poser de problèmes particuliers. Toutefois, les trois chaufferies de l'IPREM, de l'IRSAM et de la Présidence sont installées en terrasse et devront faire l'objet de conception particulière pour leur mise en réseau.

2.1.2 Fonctionnement hydraulique et régulation

Les chaudières installées dans les différentes chaufferies sont commandées par un système de cascade qui assure leur mise en service en fonction de la régulation de la température d'eau du circuit primaire. Les chaufferies sont majoritairement équipées de bouteille de mélange entre la chaudière et les circuits de distribution secondaires.

La régulation de puissance s'effectue donc avec une régulation de température en fonction de la température extérieure. Les températures de départ des chaudières en fonction de la température extérieure ou plus communément appelé ''loi d'eau'' ont été fournie par les services techniques de l'université.

Chacune des chaufferies possède sa propre ''loi d'eau'' en fonction de la conception et de l'équilibrage du réseau secondaire de distribution de chaleur pour chaque bâtiment. Toutefois la majorité des émetteurs installés dans les établissements de l'université sont des radiateurs ***de type 90°C/70°C,*** ce qui impose des températures importantes dans les secondaires (circuits de distribution de la chaleur jusqu'aux émetteurs) par grand froid.

Actuellement, les consignes de régulation sur les températures de départ des chaufferies font l'objet d'un pilotage quotidien manuel en fonction de la température extérieure.

On peut distinguer deux types de régulation :

- Les bâtiments nécessitant une température de départ chaudière à 85°C (environ) par -5°C extérieur, regroupant les bâtiments présidence, UFR Sciences, bâtiment Duboué, l'IRSAM, la halle des sports, les IUT et l'IPRM.
- Les bâtiments nécessitant une température de départ chaudière à 75°C (environ) par -5°C extérieur comme l'UFR lettres, l'ENS GTI, l'IFR et la Bibliothèque Universitaire.

Ces régimes de températures sont ***peu adaptés à une valorisation efficace de la géothermie*** car les fortes températures nécessaires dans les radiateurs par grand froid réduiront les possibilités de valorisation de la géothermie.

Selon l'exploitant, le différentiel de température entre le départ et le retour des secondaires est compris entre 15 et 20°C suivant les bâtiments.

Des améliorations à venir sont toutefois à prendre en considération. La réhabilitation de certains bâtiments avec des travaux d'isolation et de remplacement des menuiseries permettra d'abaisser les régimes de température de la régulation en augmentant la pertinence de l'énergie géothermique. Nous citerons, en exemple, les bâtiments de l'UFR Sciences dont l'une des façades a été rénovée possédant son propre circuit de distribution d'énergie. La différence entre les lois de régulation des deux façades (Est et Ouest) et de 8°C pour une température extérieure de 0°C.

La régulation de chaque site devra faire l'objet d'une attention particulière dans les prochaines étapes d'étude, en prenant en compte les programmes de rénovation et de remplacement des émetteurs prévus pas l'université.

2.2 ETUDE DES CONSOMMATIONS

La consommation globale annuelle de gaz de l'université pour l'année 2008 fournie par les services administratifs de l'UPPA est de 9 430 MWh PCS de gaz naturel auxquels on peut s'ajouter 100 MWh PCS (équivalent gaz) pour la chaudière de l'IBEAS soit environ 9530 MWh PCS. Cette consommation correspond aux besoins cumulés en chauffage et eau chaude sanitaire (ECS).

Pour estimer la consommation moyenne annuelle, il faut distinguer d'une part les consommations de chaleur constante sur l'année et celles dues au chauffage qui fluctuent annuellement en fonction de la rigueur climatique.

2.2.1 Estimation des consommations récurrentes (ECS et Salles Blanches)

La production d'ESC (eau chaude sanitaire) est anecdotique sur l'ensemble du campus. En effet, elle est principalement dévolue à l'alimentation des toilettes en eau chaude (robinetterie de lavabos). Les consommations estivales sont donc très faibles exception faite pour :

- Le hall des sports, où les consommations d'eau chaude dans les vestiaires existent mais restent dérisoires par rapport au potentiel de chaleur géothermie,
- L'IPREM qui présente une forte consommation de chaleur en continu toute l'année même en été. Ces consommations ne peuvent être expliquées par la production d'eau chaude sanitaire car son usage est réservé uniquement à quelques lavabos selon l'exploitant. De la même manière, il n'existe pas d'autres postes significatifs de consommation de gaz.

Les consommations en gaz de ce bâtiment seraient donc dues au maintien en température des ''Salles Blanches'' nécessitant une ambiance et une hygrométrie constante extrêmement précise toute l'année. Pour autant, le chauffage et la déshumidification de ces pièces expliquent difficilement la quantité importante de gaz consommé bien que lors de notre visite une chaudière de 700 kW était en fonctionnement avec 32°C de température extérieure.

L'IPREM est un bâtiment récent soumis aux dernières réglementations thermiques, sa consommation de chauffage en kW/m^2 est donc beaucoup plus faible que les autres bâtiments gérés par l'Université. Afin de prendre en compte les fortes consommations estivales de ce bâtiment, nous estimons en première approche une consommation récurrente de 100 MWh/PCS par mois pour les ''Salles Blanches et l'ECS.

Ce point devra faire l'objet d'une analyse particulière des consommations en 2009 (pour la deuxième année d'exploitation du bâtiment) afin de valider la prise en compte définitive de ces besoins.

Les consommations annuelles en base seraient donc, de 1 222 MWh PCS/an pour les ''Salles Blanches'' et l'ECS, soit environ 990 MWh utiles en prenant en compte le rendement des chaudières.

2.2.2 Estimation des consommations propres au chauffage des locaux

Le tableau ci-dessous présente la répartition des consommations de gaz, en 2008, fournie par les services de l'UPPA , pour chaque chaufferie.

	TOTAL MWh PCS	ECS ou Salles Blanches MWH PCS	Besoins spécifiques pour le chauffage MWH PCS	Besoins spécifiques pour le chauffage Mwh utiles
1- Présidence	202	0	202	164
2- UFR Sciences et 7- Dub	2350	4,9	2345	1794
3- UFR Lettres	855	0	855	654
4 - UFR Droit	945	5	940	719
5 - IFR	513	1,6	511	391
6 - BUDL	790	0,6	790	604
8 - ENS.GTI	113	0	113	86
9- IRSAM	202	0,2	202	155
10 - 11 - IUT /STID / GTE	438	3,9	434	332
12 - Halle des sports	522	5,4	517	395
13 - IPREM	2500	1200	1300	1053
14 - IBEAS	100	0	100	81
TOTAL	***9530***	***1222***	***8309***	***6428***

Tableau 2: Consommations mensuelles de chaleur de l'université en 2008

La part de consommation annuelle fluctuant en fonction de la rigueur climatique du site est estimée à 8 309 MWh PCS sur la base de 1744 DJU en 2008 (Cf. Tableau 2).

Après avoir pris en compte le rendement théorique des chaudières (entre 85 et 90% selon année de mise en services), les besoins en chaleur chauffage pour l'année 2008 s'élèvent à 6 428 MWh utiles.

L'étude des températures moyennes journalières sur les dix dernières années conclut à une rigueur climatique de 1755 DJU sur la période de chauffe considérée ce qui permet d'estimer la consommation énergétique à 8 361 MWh PCS pour une année moyenne pour la part chauffage des bâtiments de l'UPPA. De la même manière, la consommation moyenne annuelle est estimée à 6 469MWh utiles.

2.2.3 Bilan de consommation moyenne annuelle

L'étude climatologique sur 10 ans montre que l'année 2008 est une année de rigueur climatique moyenne, on trouve donc une consommation énergétique globale moyenne sur le site de 9583 MWh PCS très proche. Selon les hypothèses considérées cela correspond à la fourniture d'environ 7 460 MWh utiles par an, en moyenne.

La première constatation est que la consommation d'énergie de l'université de Pau, dans son ensemble, est modeste aux vues des réseaux de chaleur géothermiques existants avec une moyenne proche de 40 000 MWh utiles.

2.3 ETUDE DES BESOINS EN PUISSANCE

L'étude des besoins en puissance a pour but d'apprécier les puissances appelées par les chaufferies (hors surdimensionnement) en fonction de la température extérieure. Il s'agit d'une pré-étude qui devra être approfondie dans la phase d'étude de faisabilité. En effet, la puissance disponible sur un doublet géothermique est difficilement extensible et une étude des appels de puissance du futur réseau de chaleur permet d'avoir, par la suite, une estimation de la couverture possible des besoins par la géothermie.

La Figure 2 présente la monotone horaire des appels de puissance de l'université sur la base d'une année moyenne 1755 DJU.

Les calculs sont réalisés sur une période de chauffe théorique : du 20 octobre au 15 mai, intégrant un coefficient d'occupation faible de 0.7 (établissements scolaires et activités administratives) avec la prise en compte des réduits de nuit (consigne à 15°C).

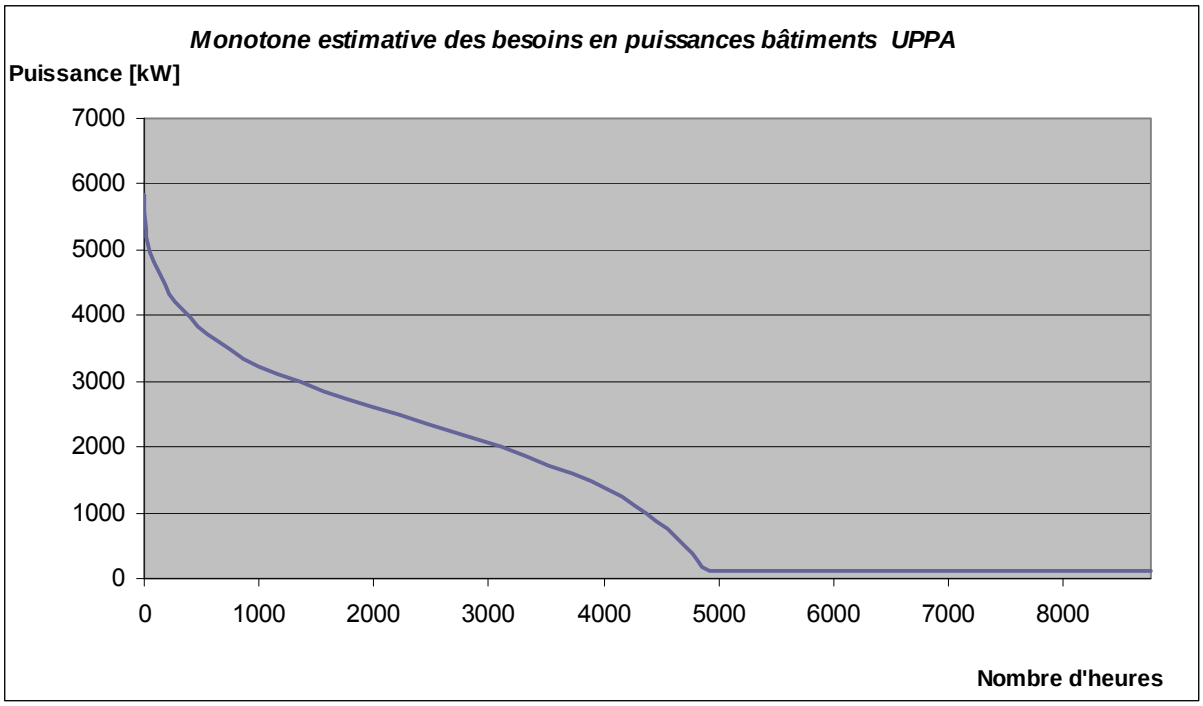


Figure 2 : Estimation de la courbe monotone des besoins de l'UPPA

La puissance appelée par -5°C extérieur dans cette configuration ***serait inférieure à 6000 kW*** environ incluant les pertes du réseau de distribution. Il est à noter que le maintien en température des bâtiments la nuit diminuerait fortement la puissance maximum nécessaire mais augmenterait les consommations globales sur l'année.

Cette puissance totale est décomposée par chaufferie ci-dessous (Cf. Tableau 3).

Puissance appelée en chaufferie	Puissance appelée par -5°C (estimation chauffage+ECS) en kW	Pourcentage de la puissance TOTALE
1- Présidence	139	2,43%
2- UFR Sciences et 7- Du	1609	28,22%
3- UFR Lettres	587	10,30%
4 - UFR Droit	645	11,31%
5 - IFR	351	6,15%
6 - BUDL	542	9,50%
8 - ENS.GTI	78	1,36%
9- IRSAM	139	2,43%
10 - 11 - IUT /STID / GTI	298	5,22%
12 - Halle des sports	369	6,22%
13 - IPREM	1016	15,65%
14 - IBEAS	69	1,20%
TOTAL	***5839***	***100%***

Tableau 3 : Estimation des puissances maximum appelées par bâtiment

Ces valeurs sont ensuite utilisées afin d'estimer la puissance des sous-stations à installer dans différents bâtiments et leurs coûts.

Ces valeurs permettent également de modéliser pour partie le fonctionnement du réseau de chaleur en pondérant notamment les puissances de sous-stations avec les ''lois d'eau'' de régulation (températures de consignes en fonction de la température extérieure) pour chaque bâtiment.

Cette première approche est cohérente au regard des puissances installées en chaufferies et des coefficients de surpuissances utilisés habituellement dans la profession.

3 GEOLOGIE HYDROGEOLOGIE DE LA RESSOUCE GEOTHERMIQUE

3.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

D'un point de vue géologique, le secteur prend place dans le contexte sédimentaire du bassin aquitain (Cf. Figure 3 :). Celui-ci consiste en une succession de couches géologiques de nature variée, résultant de phase d'immersion et d'émersion des terres ayant conduit au dépôt ou à l'érosion de sédiments.

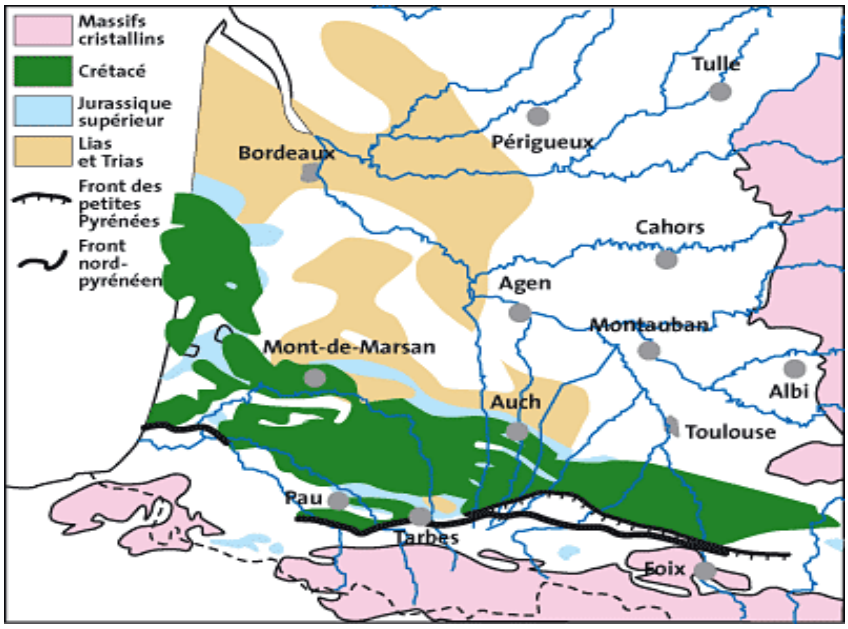


Figure 3 : Schéma du Bassin Aquitain (source BRGM)

La température de la ressource augmente avec la profondeur avec une moyenne de 3°C/100 mètres environ.

Plusieurs aquifères peuvent être exploités dans le cadre d'un projet géothermique basse énergie en Aquitaine dans les formations du Crétacé, du Jurassique et du Trias.

Nous citerons, pour exemple :

- Les aquifères du Crétacé supérieur Maestrichtien, Campanien, Turonien et Cénomanien,
- Les aquifères du Crétacé inférieur Aptien, Barrémien,…
- Les aquifères du Jurassique supérieur Portlandien, Kimmeridgien,…

Sur un plan local, la structure géologique peut s'avérer nettement plus complexe avec une variation importante des profondeurs de chaque formation sur des distances horizontales courtes.

3.2 GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE (SOURCE BRGM)

La synthèse des connaissances géologiques dans le secteur étudié a permis la description de l'ensemble des unités stratigraphiques depuis la surface jusqu' à 2500 mètres de profondeur ainsi que l'identification de l'aquifère cible du projet.

La géologie prévisionnelle au droit du site est donnée par le SGR Aquitaine (Cf. Figure 4).

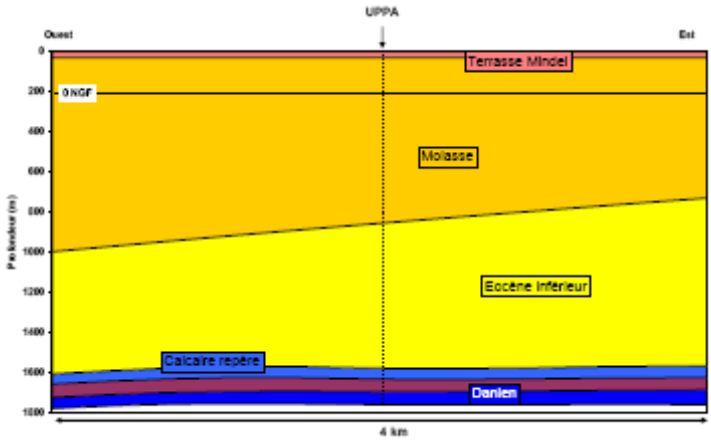


Figure 4 : Coupe géologique Est-Ouest au droit de l'UPPA

3.3 HYDROGEOLOGIE (SOURCE BRGM)

Trois aquifères potentiels sont présents au droit du campus dans les 2 500 premiers mètres, l'un situé dans le quaternaire et les deux autres dans le Paléocène.

3.3.1 Aquifère de la terrasse de MINDEL (Quaternaire)

Identifiée à moins de 10 mètres de profondeur dans les formations du quaternaire, l'aquifère de la terrasse MINDEL reste peu connu. Les essais de pompage laissent espérer un débit exploitable autour de 15 m^3/h avec une température de 14,5 à 16,3 °C.

Cette température est relativement élevée compte-tenu de la faible profondeur de la ressource et permet de mobiliser plus de 150 kw de puissance thermique par doublet via une pompe à chaleur.

Pour autant, l'exploitabilité de cette nappe devra faire l'objet d'une étude spécifique car elle est jugée acide (pH=6) et ferrugineuse avec une teneure de 10 à 13 mg/l.

La réalisation d'un ou plusieurs doublet sur cet aquifère superficiel pour les chaufferies de l'université semble une solution pertinente car de nombreuses chaufferies sont de faibles puissances.

Cette solution pourra être préconisée pour de petites chaufferies dont le coût de raccordement à un projet de réseau de chaleur serait trop élevé comme pour les IUT et l'UFR Droit.

3.3.2 Aquifères du Paléocène

L'étude de préfaisabilité se concentre sur la mobilisation de la ressource géothermale basse énergie identifiée par les services du BRGM dans le Paléocène.

Dans la formation géologique du Paléocène débutant à 1 580 mètres de profondeur au droit du site, on distingue trois unités :

- La couche des ''calcaires repères'' d'une épaisseur de 50 à 55 mètres environ,
- Une couche semi-perméable composée de marne, de grés et de calcaires d'une épaisseur de 65 mètres environ,
- La couche du Dano-Paléocène localement appelée ''Calcaire de Lasseube'' d'une épaisseur de 65 mètres environ.

Les caractéristiques prévisionnelles de ces différentes couches de l'aquifère ont été transmises par les services du BRGM et figurent dans les Tableau 4 et Tableau 5.

Toit de la formation	1580 mètres / sol environ
Epaisseur de l'aquifère	55 mètres selon l'interpolation
Salinité moyenne	3 à 6 g/l
Pression statique en tête de puits	N C
Débit mobilisable	N C
Température moyenne de fond	N C

Tableau 4 : Caractéristiques des calcaires repères (source BRGM)

Toit de la formation	1700 mètres / sol environ
Epaisseur de l'aquifère	Environ 65 mètres
Température moyenne de fond	De 65 à 70°C (hypothèse de travail 67°C)
Salinité moyenne	De 3 à 12 g/l
Pression statique en tête de puits	Potentiellement positive (artésien)
Transmissivité moyenne	+-30 Dm
Débit mobilisable	100 à 150 m^3/h (non prouvé)

Tableau 5 : Caractéristiques de la nappe du Dano-paléocène (source BRGM)

Dans le cadre d'une étude de faisabilité, il sera important d'aborder la possibilité de capter les différentes couches de l'aquifères simultanément afin de maximiser le débit mobilisable par le doublet.

En effet, ces deux couches aquifères sont référencés dans la même formation géologique : le Paléocène et sont séparés par une formation semi-perméable. De plus leur salinité est relativement proche.

Toutefois, cette possibilité devra être approuvée par les services de l'eau, au regard notamment des risques de décharge des eaux de la couche des Calcaires de Lasseube dans les calcaires repères ainsi que des utilisations (autres que géothermiques) de ces ressources au niveau départemental.

L'aquifère profond du Paléocène et donc l'aquifère cible principal du projet, toutefois, il faut prendre en considération qu'il pourra être ***techniquement très complexe d'isoler le Dano-paléocène*** des 'calcaire repères'. Cette possibilité technique ne peut être validée à ce stade des études, et, de façon globale la faisabilité sur la conception des forages devra porter une attention particulière sur ce point.

Dans le cadre de cette étude, il est donc pris en compte que le Paléocène est capté sur toute sa hauteur avec la pose d'un sabot de forage proche du mur de l'Eocène inférieur (possibilité qu'il conviendra également de valider techniquement).

La température de la ressource des Calcaire de Lasseube est de 65 à 70°C. Il s'agit de températures de réservoir et ne tiennent pas compte de la perte thermique lors de la remontée du fluide dans les tubages (échange de chaleur par conduction avec le sol). En première approche, cette perte thermique est évaluée à 2°C, les températures en tête de forage seraient donc comprises entre 68 et 63°C (hypothèse de travail à 65°C).

La salinité du fluide est relativement faible de 3 à 12 g/l.La chimie prévisionnelle du fluide n'ayant pas été étudiée à ce stade, nous limiterons la température de réinjection à 20°C en tête de puits de façon arbitraire pour tenir compte des risques de précipitation pouvant occasionner des désordres sur les équipements de production (pompes) et les équipements de surface (tuyauteries, échangeurs, etc…).

L'aquifère présente une bonne transmissivité (potentiellement supérieure à 30 D.m),ce qui permet théoriquement d'atteindre des débits supérieurs à 200 m^3/h avec des diamètres de forage et de tubage adaptés.

Pour autant le manque d'information sur la pression statique en tête de forage ne permet pas d'analyser à ce stade de l'étude la sensibilité de la production géothermale en fonction de la conception de forage choisie. Nous travaillerons pour l'heure avec les hypothèses de débit émises par le BRGM de 100 à 150 m^3/h.

4 CONDITIONS REGLEMENTAIRES D'ACCES A LA RESSOURCE GEOTHERMIQUE

Sont présentés les éléments relatifs à ***l'obtention d'un permis de recherche et d'exploitation de gîte géothermique (PER)*** qui est la première étape réglementaire. Dans le cadre de la réalisation du projet, il serait à envisager par la suite, une demande d'ouverture de travaux miniers.

Toutes les autorisations sont délivrées par arrêtés préfectoraux, y compris l'arrêt définitif des travaux d'exploitation du gîte (articles 91 et suivants du Code Minier et 44 à 49 du décret n° 95-696).

4.1 CADRE GENERAL IMPOSE PAR LE CODE MINIER (ARTICLE 3)

L'objectif du projet étant la récupération de chaleur souterraine, assimilée à une substance minérale qualifiée de "gîte géothermique", le cadre règlementaire qui s'applique est le **Code Minier** (article 3). Le titre V du régime général du Code Minier intitulé **"Des gîtes géothermiques à basse température"** s'applique pour tous les aquifères dès lors que le prélèvement thermique et la profondeur de gisement dépassent un certain seuil (cas du projet).

Les procédures d'obtention des permis miniers et d'exploitation sont étroitement liées.

Il faut retenir des articles 98 à 101 du Code Minier que :

- Tous travaux de forage, en vue de recherche de gîtes géothermiques, sont ***soumis à une autorisation accordée par arrêté préfectoral*** après enquête publique ;
- En cas de succès de recherche, l'exploitation du gîte ne peut avoir lieu qu'en vertu d'un permis d'exploitation accordé par le Préfet. Le titulaire de l'autorisation de recherche et le seul à pouvoir obtenir un permis d'exploitation englobant l'emplacement des forages ou qui est situé en tout ou en partie à l'intérieur du périmètre de l'autorisation ;
- Le permis d'exploitation, d'une durée maximale de trente ans, confère un droit exclusif d'exploitation dans un volume déterminé (un périmètre et deux profondeurs : toit et mur du réservoir) ;
- Un périmètre de protection de l'exploitation géothermique peut être délimité dans l'arrêté d'autorisation de travaux ou dans le permis d'exploiter.

Les modalités administratives de demande d'autorisation de recherche, de permis d'exploitation ou de prolongation de permis sont décrites dans le Décret n°78-498 du 28 mars 1978 version consolidée du 28 décembre 2003.

La demande de permis d'exploitation (PEX) sera présentée après que les autorisations de recherche du gîte (PER), puis d'ouverture des travaux aient été obtenues (DOTEX). La DRIRE accepte que ces deux demandes préalables soient présentées conjointement dans un seul document.

4.2 DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE D'UN GITE GEOTHERMIQUE

Un projet géothermique débute par une demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique qui, d'après le décret précédemment cité, doit suivre la procédure suivante :

- Outre les renseignements administratifs relatifs au maître d'ouvrage et les caractéristiques des aquifères-cibles, la demande doit intégrer :

  - Le programme de travaux, le type et les modalités de valorisation envisagées ;

  - Le cas échéant, la justification de la demande de périmètre de protection;

  - Une notice d'impact complète indiquant en particulier les dispositions prévues pour l'exécution, l'entretien et le contrôle des ouvrages en vue de la préservation des eaux souterraines ;

- Les volumes d'exploitation et périmètres de protection envisagés.
- Le dossier de demande d'autorisation est adressé au Préfet en 4 exemplaires, plus autant de communes du territoire sur lesquelles porte le périmètre de recherche ou le volume d'exploitation.
- Lorsque la demande est jugée recevable par le service interdépartemental des Mines (DRIRE), l'enquête publique, d'une durée minimale de 15 jours, est initiée.
- Sauf modification significative des emplacements des forages, des périmètres d'exploitation ou des débits calorifiques extraits, le permis d'exploitation ne nécessite pas de nouvelle enquête publique.
- L'arrêté est pris dans les quatre mois qui suivent la clôture de l'enquête publique (6 mois en cas de demande en concurrence). Si plusieurs départements sont concernés, la demande donne lieu à un arrêté inter préfectoral.

4.3 PERMIS D'EXPLOITATION EXISTANT ET PERIMETRES CONCERNES

Il conviendra d'optimiser les impacts au réservoir du projet en fonction du site possible de réalisation des forages ainsi que d'éventuellles autres demandes d'autorisation.

La définition du futur périmètre d'exploitation devra s'appuyer sur **une modélisation locale du fonctionnement hydrodynamique et thermique du réservoir**.

Cette simulation numérique, sera obligatoirement réalisée lors de l'étude de faisabilité afin d'optimiser et de fiabiliser la conception des forages et le volume d'exploitation sur la durée du projet.

Les principaux objectifs de cette simulation seront :

- de s'assurer de la pérennité de la ressource au droit du doublet ;
- de vérifier l'absence de recyclage d'eau froide au sein du doublet ou entre doublet, susceptible de compromettre la viabilité technique et économique de l'exploitation ;
- de contrôler l'impact à moyen et long terme (20-30 ans) de l'exploitation du réservoir au droit du secteur d'étude.

5 DISPOSITIFS DE MOBILISATION DE LA RESSOURCE

5.1 CONCEPTION DE LA BOUCLE GEOTHERMIQUE

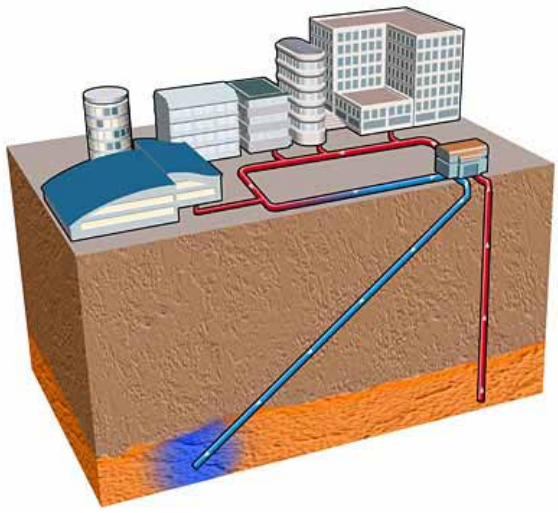
Pour des raisons environnementales liées à la salinité du fluide d'une part, et techniques en relation avec le maintien en pression du réservoir d'autre part, ***un dispositif en doublet (un forage de production et un de réinjection) s'impose*** pour l'exploitation de la ressource géothermale du Paléocène.

Les contraintes techniques de mobilisation de cette ressource sont liées à la profondeur des ouvrages qui nécessite la mise en œuvre d'une machine de forage suffisamment puissante, et aux caractéristiques physico-chimiques du fluide qui induisent des risques de corrosion-dépôts susceptibles de perturber l'exploitation.

La technique du doublet consiste à utiliser un puits de production permettant de mobiliser la ressource géothermale et un puits de réinjection afin de réinjecter l'intégralité du volume de fluide prélevé dans le réservoir.

La figure ci-contre permet de visualiser un doublet de géothermie permettant d'alimenter en chaleur un réseau en transmettant les calories à un échangeur de chaleur.

Une modélisation numérique est nécessaire afin d'évaluer la distance minimum entre les deux impacts du puits. En effet, cette distance permet d'éviter que le fluide réinjecté (à température froide) soit pompé par la suite et vienne abaisser la température de production (recyclage thermique).



Source BRGM

Le doublet géothermique peut être constitué de :

- Deux puits droits avec une distance suffisante entre chaque puits pour éviter le recyclage thermique,
- Deux puits déviés à partir d'une même plate forme,
- Un puits dévié et un puits incliné à partir d'une même plate forme.

5.2 EMPRISE AU SOL POUR LA REALISATION DE FORAGES NEUFS

La réalisation d'un forage à plus de 1 500 mètres nécessite un engin de forage lourd de forte capacité au crochet. Dans cette catégorie de matériel, l'emprise au sol occupe une superficie d'environ 80 mètres de longueur pour une largeur d'environ 60 mètres.

Si on ajoute à cela, les zones de manœuvre, de stockage et de parking, l'emprise totale du chantier peut être estimée à 5 000, voire 6 000 m^2 de surface disponible.

Un entretien avec les services des bâtiments permet de définir plusieurs sites d'implantation possible de l'université qui permettrait l'installation d'une machine de forage adaptée à ce type de travaux. La validation de ces sites devra faire l'objet d'une étude de faisabilité notamment au regard des contraintes d'accès, de l'impact sur le voisinage (salle de cours, bibliothèque) de sa position centrale par rapport aux consommations ainsi que des utilités (eau, évacuation des déblais de forages,…).

Figure 5 : Sites possibles d'implantation

En première approche, la zone 3 est à privilégier car elle est la plus éloignée des bâtiments et permet de conserver le plus d'arbres sur le site que la zone 2.

6 SOLUTION TECHNIQUE DE LA CENTRALE DE PRODUCTION GEOTHERMIE

Afin d'estimer le taux de couverture prévisionnel des besoins par la géothermie, il est nécessaire d'envisager un schéma technique simplifié du réseau de chaleur et de la centrale de production de chaleur géothermique.

6.1 LE RESEAU DE CHALEUR

Le scénario de géothermie basse énergie, envisage le raccordement à ***une production centralisée de chaleur*** pour l'ensemble du site. Il prend en compte la mise en réseau de toutes des chaufferies présente sur l'université bien que la pertinence de ce raccordement soit à valider dans le cas des chaufferies de petites puissances.

L'étude de faisabilité devra statuer sur ce point notamment sur les principes de distribution de la chaleur géothermique en antenne ou en boucle.

La distribution en antenne, condamne une antenne entière en cas de maintenance et ce système n'est pas évolutif. La distribution en boucle, permet en cas de nécessité d'entretien de condamner la partie du réseau concernée. Ce type de distribution augmente considérablement la longueur de tuyau et le nombre de vannes à mettre en place mais c'est un système évolutif qui permettrait le raccordement de futurs bâtiments.

Dans tous les cas, il sera nécessaire d'optimiser la conception pour une bonne valorisation de la géothermie (régulation des débits, cascade de température entre les différentes distributions du réseau, gestion par GTC,….).

L'étude montre que le réseau de chaleur nécessite le passage d'un réseau sur 2,3 km au minimum et la réalisation de 14 sous-stations. L'opportunité de regrouper plusieurs chaufferies en une seule sous-station pourra être étudiée par la suite.

Il sera pris en considération la réalisation d'un réseau en acier, toutefois des solutions d'optimisation des coûts pourront être trouvées avec notamment la mise en place de tubes en résine ou plastique sur certaines portions du réseau. Ce type de technologie permettra de faire des économies substantielles sur la pose du réseau car elle est fortement facilitée par la réduction du nombre de soudures à réaliser.

6.2 REGIME DE TEMPERATURE DU RESEAU

Le régime de température de fonctionnement du réseau a un impact fort sur les possibilités de substitution de la chaleur gaz par la géothermie. Même si la température de la ressource géothermique est relativement élevée (63 à 67°C), les émetteurs de chaleur imposent des températures de plus de 80°C à la température extérieure de base (-5°C). L'étude des différentes chaufferies montre que les chaufferies des différents bâtiments de l'UPPA peuvent être alimentés ***par une température de 85°C par -5°C*** (Cf chapitre 2.1.2).

Une étude complémentaire sera nécessaire pour valider cette hypothèse et définir au mieux le régime de fonctionnement d'un futur réseau. Elle sera notamment à adapter suivant le type d'émetteur dans les bâtiments qui seront raccordés ***en plus de l'UPPA, sur le réseau***. Il sera indispensable de réguler le réseau principal par une pompe à débit variable et de faire également une régulation finale au niveau de chaque sous-station.

6.3 LA PRODUCTION DE CHALEUR

La chaleur sera produite par la combinaison de deux à trois systèmes :

- Un échangeur géothermique récupérant la chaleur géothermale du forage par échange direct,
- La possibilité de mettre en place une pompe à chaleur haute température (PAC) afin d'augmenter la puissance prélevée sur le doublet,
- Un système d'appoint et de secours qui pourra être au gaz ou au fuel.

6.3.1 Descriptif sommaire de la solution (préfaisabilité)

L'ensemble des moyens de production sera regroupé dans la centrale géothermique. Le dimensionnement sera à optimiser au regard des besoins effectifs et de la courbe monotone finale (intégrant les consommateurs supplémentaires du réseau).

L'hypothèse d'un échangeur géothermal haute performance, réduisant fortement le pincement entre la température de la ressource et le réseau de chaleur (inférieur à 2°C) à été retenue. La température de distribution dans le réseau atteindrait environ 63°C.

Trois scénarios ont été établis pour évaluer la puissance géothermique récupérable

- Le scénario '1', est basé sur l'hypothèse de débit géothermal pessimiste avec 100 m^3/h de débit et une température de 65°C en tête de forage,
- Le scénario '2', est basé sur une hypothèse de débit plus optimiste avec 150 m^3/h de débit géothermal et une température de production 65°C,
- Le scénario '3', est basé sur les hypothèses du scénario 1 avec l'ajout d''un dispositif de pompe à chaleur haute température (65°C minimum au condenseur) permettant d'épuiser les calories de la ressource jusqu'à 20°C de température de réinjection.

NB : Un scénario 4, adéquation ressource et besoins de chaleur 'Type', sera abordé par la suite avec une hypothèse médiane de débit à 125 m^3/h, et l'ajout de pompes à chaleur.

Le Tableau 6, récapitule les puissances récupérables en fonction des scénarios évoqués et permet également de visualiser l'importance de raccorder des bâtiments ayant des émetteurs de chaleur basse température abaissant la température de retour du réseau et la température de réinjection (Tinj).

Tableau des puissances	Scénario 1, 100 m3/h	scénario 2, 150 m3/h	scénario 3, 100 m3/h avec PAC
Puissance maximum nécessaire par -5°C.	≈ 5 850 kW	≈ 5 850 kW	≈ 5 850 kW
Puissance max récupérable sur la géothermie pour ***Tinj= 40°C***	*≈ 2 668 kW*	*≈ 4 000 kW*	
Puissance max récupérable sur la géothermie pour ***Tinj= 30°C***	*≈ 3 800 kW*	*≈ 5 750 kW*	
Puissance récupérable sur la géothermie pour ***Tinj= 20°C (50% échange direct, 50% PAC)***			≈ 5 900 kW (COP de 5)

Tableau 6 : Synthèse des puissances récupérables sur l'échangeur géothermique

La puissance récupérable avec une PAC est potentiellement supérieure aux besoins de l'UPPA par -5°C. Toutefois les températures importantes nécessaires aux émetteurs de chaleur limiteront la couverture énergétique.

La puissance récupérable sur l'échangeur géothermique fluctue en fonction de la température de retour du réseau de distribution diminue lorsque la température de réinjection augmente. La puissance récupérable sur le doublet pourra donc évoluer en fonction des travaux réalisés dans le futur sur les émetteurs de chaleur et l'isolation des bâtiments.

6.3.2 Système d'appoint et de secours

Un système d'appoint et de secours doit répondre à des contraintes spécifiques :

- sécurité d'approvisionnement ;
- souplesse d'utilisation (facilité d'allumage) ;
- couverture des besoins à 100%.

Une chaufferie au gaz naturel ou au fuel répond à ces critères. De plus, les besoins faibles en appoint amènent à préconiser une solution qui requiert de faibles investissements.

Une chaudière gaz possède l'avantage d'un faible encombrement, ne nécessite pas de zone de stockage et possède une très bonne réactivité aux variations de puissance.

7 BILAN ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Le bilan énergétique des besoins vise à déterminer le niveau de fourniture de chaleur par le réseau aux différentes sous-stations. Cette valeur est particulièrement importante car les investissements pour la géothermie étant fixes, le prix final dépendra principalement de la quantité de chaleur valorisée par le réseau.

7.1 COUVERTURE DES BESOINS EN CHALEUR PAR LA GEOTHERMIE

7.1.1 Scénario 1, conservateur

La Figure 6 présente le scénario 1, de couverture des besoins en chaleur sur l'année dans le cas de la réalisation d'un doublet avec un débit de 100 m^3/h et une température de 65°C en tête de forage. La courbe bleue représente la courbe monotone annuelle des besoins en puissance (Cf. Chapitre 60)

La courbe de couverture énergétique par la géothermie (orange) suit la courbe des besoins (bleu) jusqu'à une température extérieure de 7°C environ.

Dans cette configuration, la géothermie pourrait couvrir ***plus de 75% des besoins*** en chaleur sur le site.

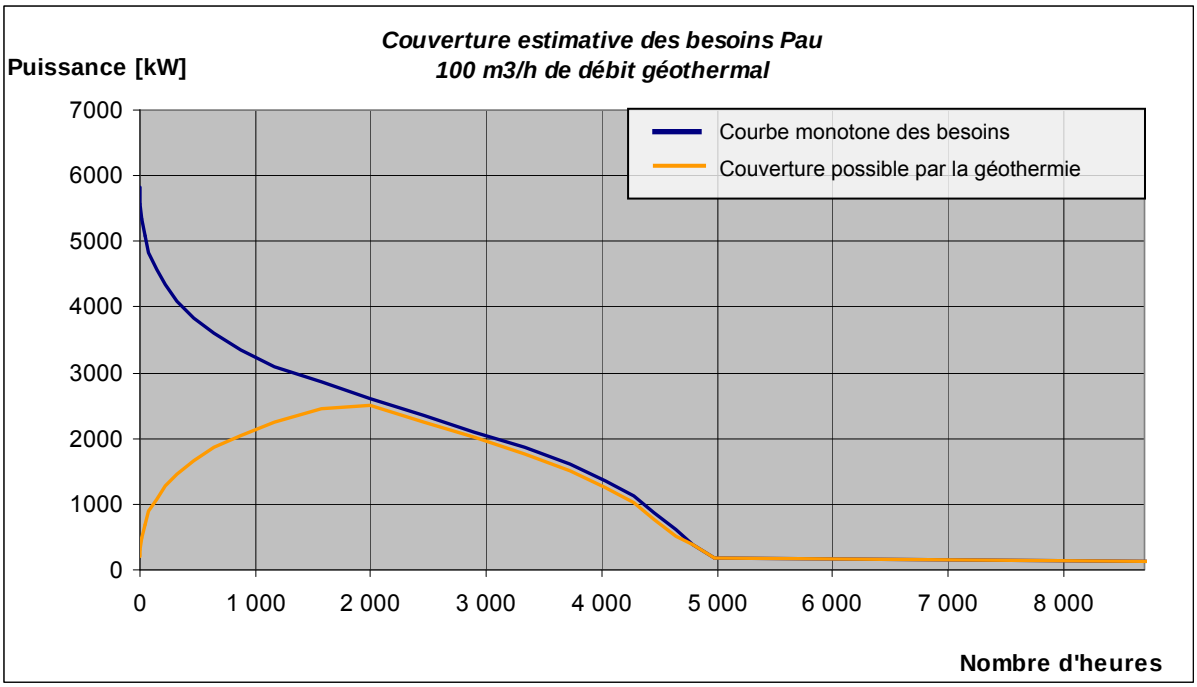


Figure 6 : Couverture énergétique avec 100 m^3/h sur le doublet

Les besoins thermiques sont faibles, sur l'année, au regard des potentialités offertes par un doublet. Le doublet est utilisé à moins de **20 %** de ses capacités sur l'année (en prenant en compte une réinjection possible à 30°C).

7.1.2 Scénario 2, hypothèse haute de débit

La Figure 7 présente le scénario 2, avec 150 m^3/h de débit géothermal et une température de 65°C en tête de forage.

Dans ce cas, la géothermie permet d'assurer l'intégralité des besoins jusqu'à une température extérieure de 5°C environ. En dessous de cette température, la puissance de la géothermie chute en raison d'un manque de débit puis de température par grand froid quelques heures dans l'année.

Dans cette configuration, la géothermie permettrait de couvrir environ 85% des besoins annuelles de l'UPPA. De la même manière que pour le scénario précédent, le doublet géothermique est faiblement valorisé, en raison du manque de consommation estivale et des régimes de température des émetteurs.

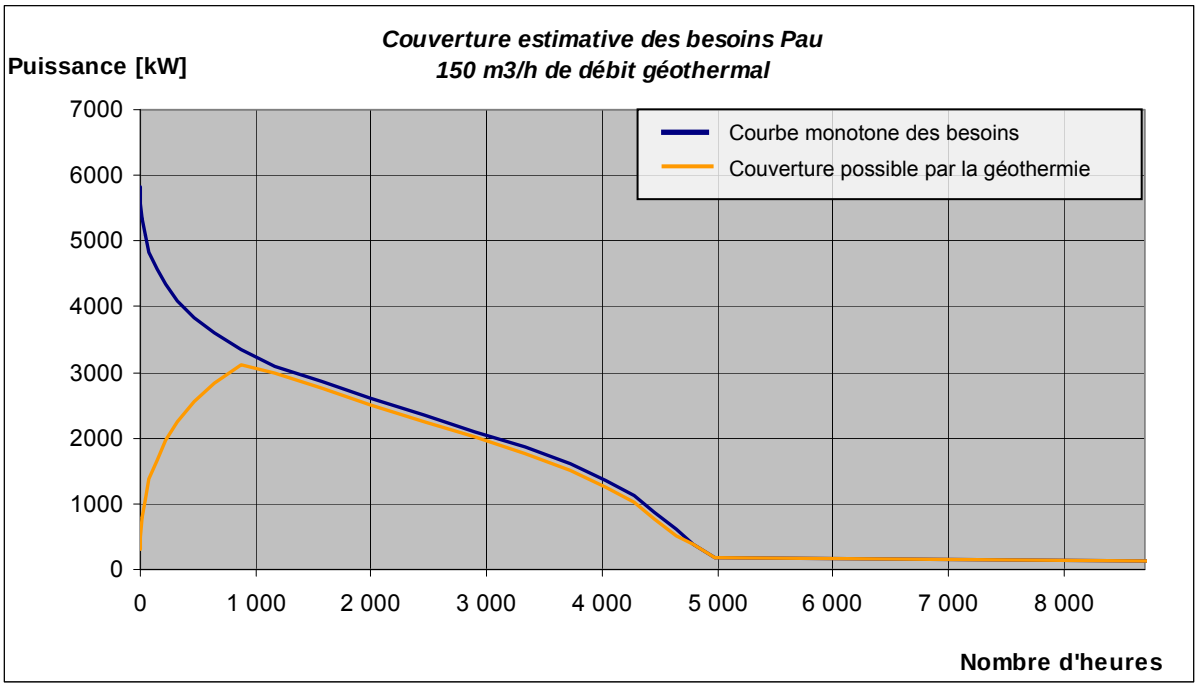


Figure 7 : Couverture énergétique avec 150 m^3/h

En comparaison au scénario précédent, on remarque qu'une augmentation de débit de 50% permet de gagner envion 10% de taux de couverture supplémentaire seulement.

7.1.3 Scénario 3 : hybridation de la production de chaleur (échange direct +PAC)

La Figure 8 présente le scénario 3, de couverture des besoins en chaleur sur l'année, dans le cas de la mise en place de pompes à chaleur permettant d'augmenter le prélèvement thermique sur le fluide et abaisser la température de réinjection dans l'aquifère jusqu'à une valeur arbitraire de 20°C environ.

Concernant la géologie, les hypothèses sont les mêmes que dans le scénario 1 avec 100m^3/h de débit et une température de 65°C en tête de forage.

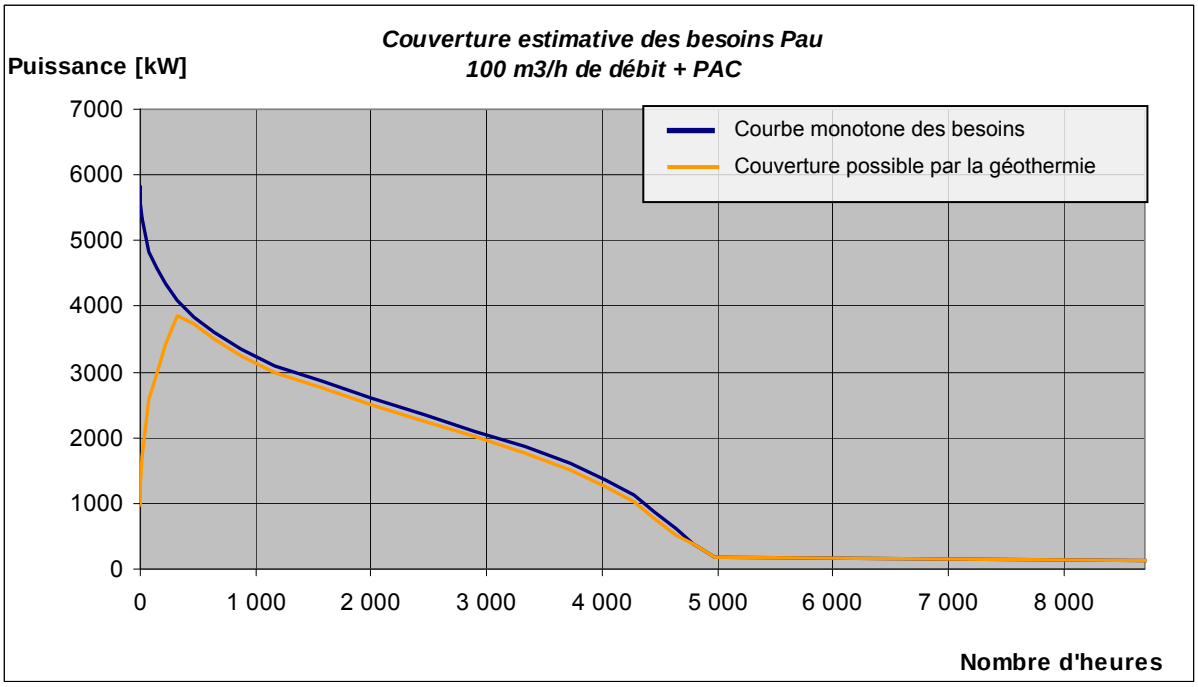


Figure 8 : Couverture énergétique avec 100 m^3/h et PAC

Une solution hybride de production, faisant appel à la géothermie par simple échange, complétée par des pompes à chaleur, permettrait de couvrir prés de 90 % des besoins en chaleur sur l'ensemble du site avec seulement 100 m^3/h de débit.

Il serait très complexe d'atteindre une couverture de l'intégralité des besoins car les derniers 10 % correspondent à l'appel d'eau chaude haute température (80 à 85°C) sur une courte période de l'année qu'il est préférable d'assurer par un appoint au gaz.

7.1.4 Scénario 4, Projection de l'adéquation ressource/besoins

Le scénario 4 prend en compte des besoins en chaleur fictifs permettant d'apprécier le niveau de consommation à atteindre pour permettre l'émergence du projet.

Selon les éléments contenus dans la méthodologie de calcul du Fonds Chaleur Renouvelable géré par l'ADEME et visant à la promotion de la géothermie profonde (Cf. Chapitre 8.3.1), le niveau de consommation du réseau de chaleur géothermique prit en exemple est de 3 000 TEP. Ce niveau de consommation correspond approximativement à 32 000 MWh utiles soit 4 fois les consommations de l'UPPA environ et couvertes à 100% par la géothermie. Compte tenu des hypothèses de débit, il sera très complexe d'atteindre ce niveau de valorisation, sauf à trouver de très fortes consommations de chaleur en été.

La Figure 9 représente la couverture énergétique d'un réseau de chaleur suivant la climatologie de Pau, totalisant 32 000 MWh utiles. Ce scénario est basé sur une hypothèse de production de 125 m^3/h géothermale à 65°C en tête de forage, auquel on ajoute un système de pompe à chaleur.

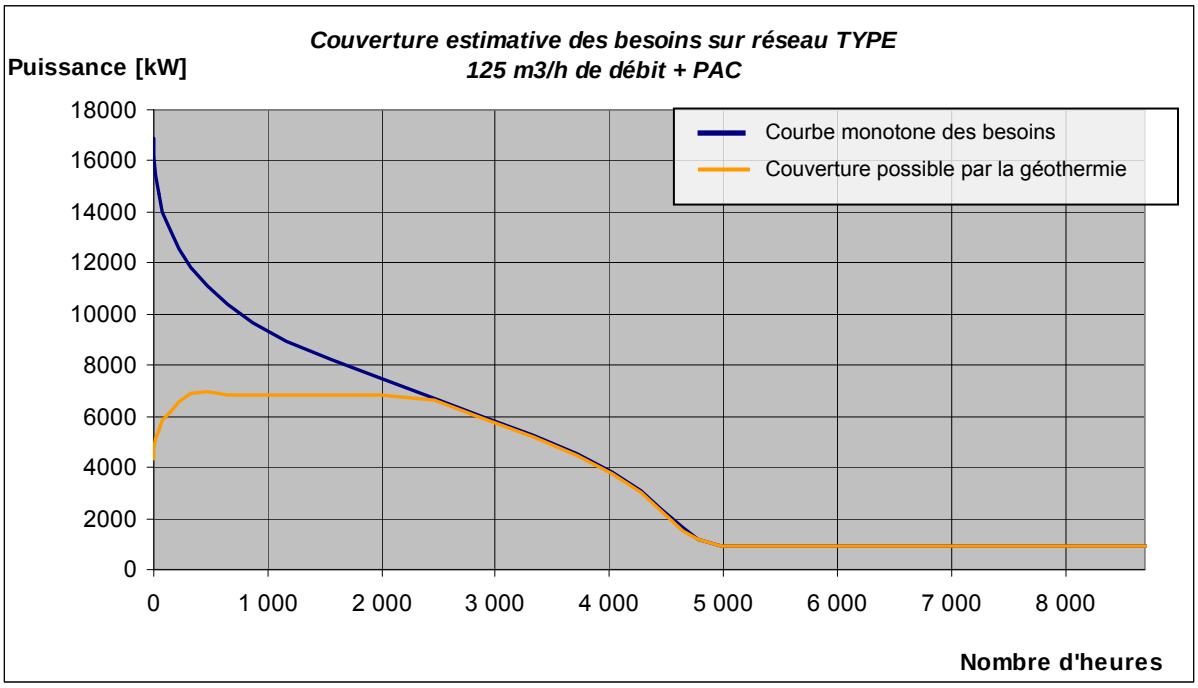


Figure 9 : Couverture des besoins d'un réseau ''Type'' avec 125 m^3/h et PAC

Pour obtenir la courbe monotone des besoins (bleue), il est nécessaire de raccorder, prioritairement au réseau de chaleur, un abonné ayant des consommations estivales (piscine proche de l'UPPA, logements, …). Il est également nécessaire de raccorder d'autres clients ayant des besoins en chauffage avec l'hypothèse d'une puissance maximum appelée, proche de 18 MW thermique par -5°C. Il est indispensable que les autres usagés utilisent majoritairement de la chaleur basse température de façon constante sur la journée afin d'abaisser la température de retour du réseau et maximiser l'usage de la géothermie (hypothèse de température retour réseau à (48°C par -5°C).

L'analyse de la Figure 9 montre que les consommations estivales ainsi que le chauffage jusqu'à une température extérieure de 9 °C environ peuvent être intégralement couverts par la géothermie (intervalle entre 2500 et 8760 heures par an).

Le plat observé sur la courbe orange (couverture possible par la géothermie) signifie que la géothermie et les pompes à chaleur sont utilisées au maximum de leur potentiel.

Dans cette configuration, le réseau pourrait être alimenté à prés de ***80% en géothermie***.

On peut citer plusieurs pistes de recherche autour de l'UPPA pour tendre vers ce profil de besoin énergétique comme le montre les Figure 10 et Figure 11.

Figure 10 : Consommateurs de chaleur au Nord de l'université

Au Nord de la zone, le périmètre du réseau de chaleur devra être étendu à la piscine municipale (Plein Ciel), aux logements attenants, aux bâtiments publics de la technopôle ainsi que l'école de commerce.

Figure 11 : Consommateurs de chaleur au Sud de l'université

Au Sud, il est pertinent de considérer les ensembles de logement dans le périmètre du projet. Ils permettront d'augmenter la valorisation de la géothermie de façon importante.

Cette recherche exhaustive, des consommateurs potentiels de chaleur dans un rayon de 2 à 3 km autour de l'université, devra être menée par un bureau d'étude spécialisé dans la valorisation de la géothermie permettant de cibler les consommateurs les plus pertinents à raccorder sur le réseau.

Pour que cette étude puisse se dérouler dans les meilleures conditions possibles, un appui de la puissance publique, notamment de la Mairie, sera indispensable (mobilisation des promoteurs immobiliers, cadastre, passage de voirie),… .

7.2 BILAN ENVIRONNEMENTAL SIMPLIFIE DU PROJET

A ce stade du projet, le bilan environnemental est abordé de façon très simplifié sur la base des économies de gaz réalisées en fonction des trois scénarios de mobilisation de la ressource avec la consommation de l'UPPA.

L'unité du carbone émis en 'kg équivalent Carbone' ou 'tonnes équivalent Carbone' permet de comparer les différents gaz en fonction de leur contribution à l'effet de serre. Cette unité est construite sur le même principe que la « tonne équivalent pétrole » (TEP) très utilisé par les énergéticiens et sur les marchés financiers.

Le Tableau 7 permet d'évaluer les économies de gaz substituées par la géothermie en comparaison à un réseau de chaleur 100% gaz alimentant l'ensemble des bâtiments de l'UPPA.

	Scénario de référence	***Scénario 1***	***Scénario 2***	***Scénario 3***
Besoins Energétiques en MWh utiles	≈ 7 500	≈ 7 500	≈ 7 500	≈ 7 500
Débit géothermal en m3/h	0	100	150	100+PAC
Taux de couverture des besoins	0%	> 75%	> 85%	> 90%
Consommation de GAZ en MWh PCS	9 585	2 396	1 438	959
Tonnes de Carbone évité (source Bilan Carbone ®)	***0***	***408***	***461***	***489***
CO2 évité en tonnes	***0***	***1 496***	***1 690***	***1 793***
TEP (Tonnes équivalent Pétrole) Economisées	*0*	553	627	663

Tableau 7 : Bilan énergétique et environnemental

L'économie de CO_2 générée par le projet de géothermie est comprise entre 1500 et 1800 tonnes par an pour un total émis de 2000 tonnes environ. Le gain environnemental est donc important pour l'UPPA mais relativement faible en comparaison à ce que peut procurer un projet de géothermie.

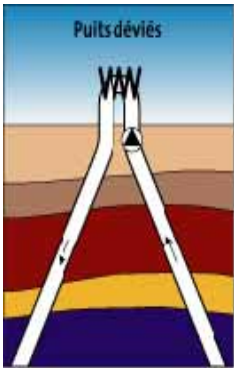
8 LES ESTIMATIONS ECONOMIQUES

8.1 LES COUTS D'INVESTISSEMENTS

Les coûts et tarifs présentés ci-après ne sont ***que des premières estimations*** pouvant fortement fluctuer en fonction :

- du prix des matériaux,
- de l'évolution du marché de forage (pétrole, gaz, eau, main d'œuvre,..)
- de l'architecture de forage retenue;
- des contraintes techniques spécifiques,…

8.1.1 Les forages



Les forages seraient dimensionnés afin d'optimiser la mobilisation de la ressource géothermale avec un débit potentiellement supérieur à 100m^3/h.

On émet l'hypothèse d'une réalisation de deux forages à 1800 mètres de profondeur/sol, qui seraient déviés et inclinés progressivement afin de pouvoir les implanter sur la même plate forme (Cf figure ci-contre).

A ce stade des études, il n'est pas possible d'analyser la sensibilité de la production géothermale aux différentes options de conception d'ouvrage (Cf. Chapitre 3.3.2).

Pour un débit de 150 m^3/h, la réalisation d'un forage en 6'' au réservoir est généralement suffisante. Pour autant si la faisabilité démontre qu'un diamètre d'ouvrage supérieur est nécessaire, il faudra ajouter environ 15 à 20% supplémentaire sur l'enveloppe annoncée.

Projet sur la base d'un forage en 6'' au réservoir

La conception des forages devra notamment prendre en compte un pré-dimensionnement de la chambre de pompage et la protection des aquifères superficiels (Terrasse de Mindel,..). La majeure partie du forage serait réalisée en 8''1/2 avec un tubage 7''. Pour le choix de tubage, la solution classique de tubage acier K 55 est retenue. La lithologie du réservoir (calcaires) incite à envisager le captage de la ressource sans crépines (trou nu).

Une estimation préliminaire des investissements sur les forages se décompose comme suit :

- Travaux de forages : 7 à 7,5 M€ HT (hors équipements de pompages),
- 10% de maîtrise d'œuvre sur le doublet,
- 5 à 10% d'assurances ''Tous Risques Chantier''.

Le coût global de réalisation des deux forages est donc d'envions 8 à 9 M€ en valeur 2009.

NB : La réalisation d'un seul forage ''prospectif'' aurait un coût global proche de 5 M€.

8.1.2 Les équipements de la centrale géothermique

Le coût des équipements de surface dépendra du scénario de mobilisation de la ressource retenue, de l'emplacement final de la centrale et des contraintes du projet.

Le bâtiment de la centrale géothermique (environ 400 m^2) serait construit à proximité immédiate des puits afin de minimiser la longueur de la conduite géothermale.

Classiquement, ce poste comprendra les dépenses :

- des pompes d'exhaure et de réinjection avec variateur et transformateur,
- d'échangeur géothermal,
- une station de traitement inhibiteur de corrosion (si nécessaire) ,
- des asservissements et postes de commande,…

Le coût de ces équipements serait de 1,4 M€ environ pour le bâtiment et les équipements, auquel s'ajoutent 0.6 M€ dans le cas d'installation de PAC.

8.1.3 Le réseau de chaleur et le bâtiment central de production

La réalisation d'un réseau de chaleur sur le site de l'UPPA ne comporte pas de contrainte spécifique. Le passage d'un réseau, à l'intérieur du Campus uniquement, nécessite peu de travaux de voirie en l'état actuel du site.

Plusieurs difficultés sont toutefois à mettre en avant :

- Le foisonnement des chaufferies entre une zone sud (Campus) et une zone plus au nord (technopôle, IPREM,…),
- La présence de chaufferies de petites puissances pour lesquelles un raccordement à un réseau de chaleur parait onéreux,
- Le nombre de coude et de regard de visite à réaliser est important, avec peu de grandes longueurs, augmentant ainsi le nombre de soudures à réaliser.
- La création de sous-stations d'échange en terrasse pour certaines chaufferies.

Ce réseau aurait une longueur ***de 2,3 km au minimum*** pour le périmètre de l'UPPA (Scénario 1,2 et 3).

Pour les passages difficiles, nécessitant des travaux de voirie ou des raccordements de sous-stations complexes, le ratio de coût utilisé est supérieur à 1000 €/ mètres linéaires.

Pour les passages plus simples (zone verte et bord de chemin), le coût devrait être inférieur, aux environs de 600 à 700 €/ mètres linéaires.

Un budget supérieur à 2 M€ pour le génie civil du réseau et la pose des conduites et pris comme hypothèse, auquel s'ajoute 250 à 300 k€ pour la réalisation des sous-stations.

8.1.4 Bilan des investissements

Un récapitulatif des estimations d' investissements est proposé en Tableau 8.

Scénario	*scénario de référence " gaz décentralisé"*	*Scénario 1 et 2 Forages - Simple échange*	*Scénario 3 Forages et PAC*	*Scénario 4 Extension du réseau de chaleur*
Forages en k€	-	*8 500*	*8 500*	*8 500*
Equipements géothermiques et centrale en k€	-	*1 400*	*2 000*	*2 200*
Réseau de chaleur en k€	*100*	*2 400*	*2 400*	*6 000*
TOTAL Investissements HT	***100k€***	***12 300k€***	***12 900k€***	***16 700k€***

Tableau 8 : Récapitulatif des estimations d'investissements

8.2 COUTS DE FONCTIONNEMENT DE LA GEOTHERMIE

Pour estimer les dépenses de fonctionnement de la centrale énergétique, il convient d'analyser :

- le coût des consommables P1 (électricité des pompes, inhibiteur de corrosion,…)
- le coût de conduite et de maintenance P2 (contrôle réglementaire, conduite des installations, petit entretien,…)
- les provisions de renouvellement et grosses réparations sur 20 ou 30 ans, P3 (remplacement et gros entretien des pompes, remplacement de tubes, nettoyage et curage des puits, provision pour éventuel sinistre,…)

Les valeurs suivantes sont données à titre estimatif sur la base de projets similaires en Région Parisienne.

Les consommables P1 (hors consommations de gaz d'appoint)

Les consommations électriques dépendront des groupes de pompage installés et de leur durée de fonctionnement sur l'année. De la même manière, les consommations d'inhibiteur de corrosion (le cas échéant) dépendront du débit mobilisé par l'installation géothermique.

Nous prendrons une valeur de ***75 k€ par an pour le poste P1***.

Les coûts de maintenance (P2)

On retrouve dans ce poste les charges annuelles relatives :

- au contrat de suivi physico-chimique du fluide ainsi que la surveillance des phénomènes de dépôt et de corrosion (en application de l'arrêté préfectoral d'exploitation) ;
- aux diagraphies réglementaires des forages (dépendant du nombre de forages) ;
- au contrat, avec un exploitant de chaufferie, assurant une présence sur site pour la conduite, le petit entretien spécifique de la géothermie (hors conduite conventionnelle),….

Nous prendrons une valeur approximative de ***45 k€ par an pour le poste P2***.

Les provisions pour grosses réparations (P3) :

Le poste (P3) ''gros entretien renouvellement'' prévoit le remplacement des équipements sur vingt ans d'exploitation du doublet géothermique. Il comprend les provisions nécessaires :

- au remplacement de la pompe tous les cinq ans avec manœuvres ;
- au curage et acidification des forages tous les 10 à 15 ans ;
- au renouvellement des têtes de puits et colonnes d'exhaure ;
- au renouvellement des parties électriques (transformateur, variateur de vitesse,…) ;
- au renouvellement de certaines parties de robinetterie thermique et d'instrumentation.

Ce poste pourra être réduit dans le cas d'un bon entretien annuel des installations ou d'une souscription auprès de la SAF Environnement pour la garantie long terme des ouvrages.

Le poste ***P3 est estimé à 90 k€ par an***.

Bilan

Une enveloppe de 250 à 300 k€ par an pour les postes de dépenses de la géothermie peut-être envisagée (P1-P2-P3). Cette estimation fluctuera en fonction du scénario de forage retenu et des options de couverture du risque géologique sur le long terme.

Le terme P4 correspond au remboursement des annuités par un financement externe sur 20 ans à un taux ***de 5 %.*** Il n'est pas intégré directement l'économie fiscale générée par cet investissement, soit 33 % du montant de l'amortissement comptable de l'actif (amorti sur 25 ans).

Il est important de noter que le taux de 5% est estimatif et qu'un taux inférieur peut être négocié, augmentant ainsi la compétitivité du projet de géothermie. En effet, le remboursement de l'investissement pèse fortement sur les coûts annuels. De la même manière, un amortissement sur trente ans de la géothermie et du réseau est tout à fait envisageable.

8.3 FINANCEMENTS, SUBVENTIONS ET COUVERTURE DU RISQUE GEOLOGIQUE

8.3.1 Financements et subventions

L'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) inscrit les objectifs des aides aux énergies renouvelables dans le cadre de ses missions fixées par le code de l'environnement (articles L. 131-3, R.131-2 et R131-3). En particulier, elle a pour mission de susciter, animer, coordonner, faciliter et, le cas échéant, réaliser toutes opérations ayant pour finalité la réalisation d'économie d'énergie et de matières premières et le développement des énergies renouvelables.

L'agence participe aux financements et aux garanties de réalisation des forages géothermiques. Elle sera le partenaire privilégié du futur maître d'ouvrage sur la mise en place des dossiers de subvention.

Deux sources de financement peuvent être citées pour ce projet :

- Le Fond Chaleur Renouvelable, dispositif mis en place suite au Grenelle de l'Environnement,
- Les Fonds démonstrateurs du FEDER (Fonds Européen de Développement des Energies Renouvelables).

Le taux des aides est fixé sur l'assiette des coûts supplémentaires engendrés par la géothermie par rapport aux coûts de référence (rénovation de chaufferies sur le site). Ces aides peuvent apporter une contribution importante sur le financement du projet pour un maximum **de 60% si l'investisseur est privé**, et d'un maximum **de 80% si l'investisseur est public**. Le taux d'aide est fixé au ***cas par cas*** par l'ADEME.

La dernière version du fond chaleur est disponible auprès de l'ADEME et précise les conditions d'accès à ces subventions.

Le calcul des aides aux passages de réseau de chaleur (dans le cadre d'un investissement privé sur le site) est basé sur une enveloppe de dépenses éligibles. Ces dépenses éligibles sont définies comme le surcoût d'une ***solution renouvelable*** par rapport à une ***solution de référence*** d'énergie fossile.

La solution de référence pour les opérations avec réseau de chaleur (centrale géothermique) est en principe, une solution décentralisée. A chaque utilisateur desservi correspondra un équipement de chauffage/ECS dont on évaluera le coût en prenant en compte les dépenses **en amont** du circuit de distribution de la chaleur dans le bâtiment desservi.

Toutefois le cas de l'UPPA est spécifique car la majorité des chaufferies appartient à un seul client et le réseau de chaleur peut-être considéré comme un réseau interne.

La réponse à cette question n'est pas encore encadrée, il faut donc ***prendre avec réserve, le choix de la solution de référence et du taux de subvention indiqué en Figure 12.***

Le scénario de référence, utilisé ci-dessous, considère une solution décentralisée de production de chaleur qui imposerait le remplacement d'une partie des chaudières à court terme sur le site de l'UPPA. Ce remplacement permettrai d'améliorer le rendement de production d'énergie car certaines chaudières ont plus de 30 ans. Cette amélioration n'est toutefois pas prise en compte à l'échelle de la préfaisabilité car elle représenterait seulement quelques pourcents d'économie sur les factures de gaz.

Scénario	***scénario de référence " gaz décentralisé"***	***Scénario 1 et 2 Forages - simple échange***	***Scénario 3 Forages et PAC***	***Scénario 4 Extension du réseau de chaleur***
Forages en k€	-	*8 500*	*8 500*	*8 500*
Equipents géothermiques et centrale en k€	-	*1 400*	*2 000*	*2 200*
Réseau de chaleur en k€	*100*	*2 400*	*2 400*	*6 000*
TOTAL Investissements HT	***100k€***	***12 300k€***	***12 900k€***	***16 700k€***
Subventions sur la part géothermie dans le cadre d'un investissement privé (hypothèse de 60%) en k€	*0*	*7 320*	*7 680*	*9 960*
TOTAL Investissements HT avec subventions	***100k€***	***4 980k€***	***5 220k€***	***6 740k€***

Figure 12 : Récapitulatif des investissements et hypothèses de subventions

8.3.2 Garanties géologiques

Comme toute ressource du sous-sol, la géothermie est soumise aux aléas géologiques. Lors d'un forage de géothermie, il existe donc un risque de ne pas retrouver les propriétés de la ressource telles qu'elles avaient été modélisées (fonds court terme).

La même incertitude pèse sur sa longévité (fonds long terme). Lors du développement des activités de géothermie en Ile de France, dans les années 80, des fonds de garantie ont été créés par les Pouvoirs Publics, spécialement à l'attention des maîtres d'œuvre d'exploitation géothermique.

Les fonds de garantie sont gérés par la SAF Environnement (ADEME – Caisse des dépôts).

Fonds de garantie court terme

Il permet via une cotisation d'assurer les investissements contre le fait de ne pas trouver la ressource géothermique dans les caractéristiques prévues (débit et température).

Fonds de garantie long terme

L'assurance long terme garantit l'intégrité des forages et la pérennité de la ressource. Elle permet la prise en charge des grosses opérations de maintenance sur les puits et le réservoir avec une franchise de 100 000 € par intervention.

8.4 SYNTHESE ECONOMIQUE

8.4.1 Tableau de synthèse et hypothèses

Le Tableau 9 présente une synthèse économique simplifiée de chacun des scénarios envisagés. Il s'agit d'une estimation qui a pour but de dégager des tendances technico-économiques entre les différentes solutions.

Le tarif d'achat du gaz est d'environ 38 €/MWh PCS hors TVA. Le tarif global de référence du gaz est de 61 €/MWh utiles hors TVA comprenant le rendement des chaudières ainsi qu'un poste de maintenance et de renouvellement des installations, en référence à des opérations similaires.

Le prix du gaz est supposé légèrement inférieur pour une solution centralisée.

Il est important de noter que ce prix de référence est amené à évoluer dans les 20 ans à venir en raison de la raréfaction des ressources fossile (gaz et pétrole). Cette évolution qui n'est pas prise en compte dans cette étude, augmentera fortement la pertinence de la géothermie dont les prix sont quasiment fixes sur toute la durée du projet (20 à 30 ans).

8.4.2 Bilan sur la production de chaleur uniquement

Le projet de géothermie basse énergie n'est ***pas pertinent, à l'échelle de l'Université de Pau Pays d'Adour,*** quelque soit le scénario de production (1,2 ou 3) envisagé. Même en prenant en compte les hypothèses de subvention les plus optimistes (60%), le prix de revient de la chaleur est quasiment doublé par rapport au prix de revient actuel.

Le scénario 4, permettrait l'émergence du projet avec une augmentation importante de la livraison de chaleur (***quatre fois plus importante que l'UPPA***) et la mise en place d'une solution hybride de production géothermique faisant appel à des pompes à chaleur pour augmenter la puissance du doublet.

Pour faire émerger ce projet et lui donner une pertinence économique, il faut en premier lieu, rechercher d'autres utilisateurs potentiels de la géothermie notamment des consommateurs estivaux (piscines, eau chaude sanitaire,..). Il faut également mobiliser des consommateurs ayant des émetteurs de chaleur basse température (plancher chauffant, centrale de traitement d'air,..)

Il est à noter également, que ce projet peut ouvrir droit à une TVA réduite à 5,5% sur la chaleur distribuée, dans le cas où, au moins trois partenaires seraient raccordés. Le gain fiscal serait alors de 14,1% sur le prix de revient TTC de la chaleur.

Lorsque la taille critique de consommation sera atteinte (environ 40 GWh PCS pour le scénario 4), une étude de ***faisabilité sera nécessaire*** avant toute décision sur la réalisation du projet. Ces travaux auront pour but d'affiner les hypothèses sur la ressources géothermale, pré-dimensionner les équipements nécessaires à la mobilisation et la valorisation de la ressource permettant d'établir des scénarios économiques plus précis.

Cette étude de faisabilité permettra au projet d'être ***éligible au fond de garantie ''court terme''*** assurant le risque géologique ainsi que de trouver le montage juridique et financier le plus approprié.

	tout gaz" scénario de référence décentralisé	*Scénario 1 100 m3/h*	*Scénario 2 150m3/h*	*Scénario 3 100m3/h +PAC*	*Scénario 4 125 m3/h+PAC+ Extension réseau*
Besoins Energétiques en MWh Utiles	7 500	7 500	7 500	7 500	32 000
Taux de couverture géothermique	0%	75%	85%	90%	80%
Consommation Energétique en gaz MWh PCS	9 530	2 383	1 430	953	7 901
P1 - Consommables (k€/an) HT	**377**	**171**	**146**	**149**	**669**
Géothermie (électricité)	0	80	90	110	380
Centrale (pièces) et gaz	377	91	56	39	289
P2- Maintenance /conduite (k€/an) HT	**60**	**125**	**125**	**145**	**185**
Géothermie		45	45	45	45
Centrale & Réseau	60	80	80	100	140
P3- Gros entretient et provision (k€/an)HT	**10**	**150**	**150**	**165**	**190**
Géothermie	0	90	90	90	90
Centrale & Réseau	10	60	60	75	100
P4 - Loyer des investissements HT	**8**	**400**	**400**	**419**	**541**
Coût total (k€/an):	**455**	**845**	**821**	**878**	**1 585**
Prix unitaire HTVA de la chaleur €/MWh Utiles :	61	113	109	117	50
Classement des scénarios chaleur	**2**	**4**	**3**	**5**	**1**

Tableau 9 : Synthèse économique simplifiée

Annexe 1 : Plan de situation des chaufferies de l'UPPA

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24, avenue Léonard de Vinci
33600 - Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70