

DGEP/SCR/RD/ MGR 09-239
TEPF/DT/EXP/10-344

Site d'injection de CO₂ de Rousse
Surveillance du site d'injection et du réservoir de
stockage
Synthèse du programme et de l'état de référence

Adresse

RD 817 - BP 22 - 64170 Lacq - FRANCE

Téléphone : +33 (0)5 59 92 22 22

Sommaire

1	INTRODUCTION	2
2	SITE D'INJECTION	3
2.1	EMPRISE RSE-1	3
2.2	SUIVI DES CARACTERISTIQUES D'INJECTION	3
2.3	PUITS D'INJECTION ROUSSE-1	3
2.4	SUIVI DE LA PRESSION ET TEMPERATURE RESERVOIR	3
3	SURVEILLANCE MICROSISMIQUE.....	4
3.1	PRINCIPE.....	4
3.2	DESCRIPTION DU RESEAU	5
3.3	PROCEDURES DE SURVEILLANCE	8
3.4	LIGNE DE BASE	8

1 Introduction

Le projet de démonstration industriel de captage et stockage géologique de gaz carbonique de Lacq, ou pilote de Lacq, a pour priorité essentielle d'assurer la sécurité des installations de surface, du site d'injection du forage de Rousse-1, du stockage profond et de leurs alentours. Pour ce faire, Total Exploration Production France, a mis en place un dispositif de surveillance qui couvre un domaine étendu, de la surface jusqu'au sous-sol profond, c'est à dire jusqu'à la roche micro-poreuse profonde servant de réservoir de stockage.

Le dispositif de surveillance, conforme à l'arrêté préfectoral de mai 2009, comprend des moyens et un programme de mise en œuvre. Certaines de ses composantes ont fait l'objet d'un état initial ou état de référence antérieur à l'injection.

Le dispositif est composé de :

1. Une surveillance en continu des gaz atmosphériques du site d'injection de Rousse-1 permettant de détecter toute émanation de gaz carbonique, de méthane ou d'hydrogène sulfuré. Ce type de surveillance, qui utilise des capteurs spécifiques répartis sur le site et autour de la tête du puits d'injection, est habituel sur les sites de production d'hydrocarbures.
2. Une surveillance en continu des caractéristiques du gaz injecté que sont sa composition, son débit en tête et ses pression et température, en tête, le long et au fond du puits d'injection.
3. Une surveillance en continu du comportement mécanique du réservoir profond par un système d'écoute sismique et micro-sismique disposé de manière permanente à l'aplomb du stockage. Ce système est composé de capteurs placés, d'une part, dans des petits puits de 200 m de profondeur répartis sur un cercle de 2 km de rayon autour du point d'injection et d'autre part au fond du puits Rousse-1 à proximité du réservoir.
4. Une surveillance de l'environnement des coteaux de Jurançon et de leurs abords par des campagnes de mesures et d'inventaires réguliers. Cette surveillance porte sur les domaines suivants :
 - a. La faune et la flore, par des inventaires annuels ;
 - b. Les eaux de surface, ou ruisseaux, par un suivi semestriel de leur qualité biologique et physico-chimique ;
 - c. Les eaux souterraines potables et non potables, par un suivi semestriel de leur qualité physico-chimique ;
 - d. Les sols, en mesurant deux fois par an les concentrations et les flux naturels de gaz carbonique et de méthane liés à l'activité biologique.

L'écoute sismique et micro-sismique ayant débuté au printemps 2009, une ligne de base du «bruit de fond» sismique et micro-sismique avant l'injection est disponible.

La surveillance de l'environnement a, elle aussi, été l'objet d'un état initial ou état de référence établi à l'occasion de quatre campagnes saisonnières : de l'automne 2008 à l'été 2009, pour les gaz des sols et de février 2009 à octobre 2009 pour les eaux de surface et souterraines et enfin, au printemps et à l'été 2009 pour les relevés faunistiques et floristiques.

Ce rapport de synthèse est consacré au dispositif de surveillance du site d'injection (puits, couverture et réservoir), constituant les points 1 à 3 de la liste ci-dessus.

La surveillance du site d'injection est effectuée en continu.

2 Site d'injection

2.1 Emprise RSE-1

Ce type de surveillance est classique sur les sites de production d'hydrocarbures.

Des détecteurs spécifiques répartis sur l'emprise du site d'injection de Rousse-1 permettent de surveiller en continu. Ils servent à la détection de seuils anormaux de dioxyde de carbone, de méthane et d'hydrogène sulfuré. Chaque détecteur est spécifique à un gaz particulier.

Les seuils d'alarme sont pour le méthane de 25% de la LIE (limite Inférieure d'Explosivité), pour l'hydrogène sulfuré de 5 ppm, Ces seuils sont d'ailleurs identiques pour toutes les installations de production. Pour le CO₂, le seuil d'alarme a été fixé à 25000 ppm.

Toutes les procédures d'alarmes, les plans d'urgence et les fiches réflexes existantes sur les zones de production sont applicables sur la zone de Rousse-1. La surveillance se fait en continu via le centre de traitement de Pont D'as.

2.2 Suivi des caractéristiques d'injection

Le suivi continu des caractéristiques du gaz injecté : composition (humidité, CO₂, Argon, O₂, CO) débit, pression et température en tête, est également assez classique sauf pour la composition.

Les données sont stockées sur des bases de données sécurisées.

2.3 Puits d'injection Rousse-1

Les différents espaces annulaires du puits sont surveillés en relevant régulièrement leur pression. Ce type de surveillance est classique sur les puits producteurs ou injecteurs. En cas d'anomalie, les procédures existantes sont applicables.

D'autre part, il existe dans la complétion du puits un capteur de pression et de température enregistrant en continu les informations à une cote intermédiaire dans le puits, à 3300 m. Ces informations ne sont pas classiques sur les installations productrices, elles sont spécifiques au projet : les informations du capteur permettront de suivre l'évolution de la pression à cette cote et de calculer les pertes de charge dans le puits. Ceci permettra d'affiner les modèles existants de perte de charge en milieu CO₂. Les informations sur la température permettront de caler les modèles thermiques

Le stockage de ces informations est effectué par un Système Numérique Centralisé sur des bases de stockage spécifiques et sécurisées.

2.4 Suivi de la pression et température réservoir

Avec le capteur à 3300 m, il existe dans la complétion du puits un second capteur de pression et de température relevant en permanence ces informations à une cote proche du réservoir, à 4384 m.

Ceci permettra de suivre l'évolution de la pression au niveau réservoir, de la comparer avec les modèles d'écoulement prédictif et de revoir éventuellement ces modèles.

Ces données sont également stockées et sauvegardées via le Système numérique Centralisé.

3 Surveillance microsismique

3.1 Principe

La surveillance microsismique passive a pour but d'enregistrer les microséismes se produisant dans le sous sol.

Le réseau de surveillance sismique qui a été mis en place sur Rousse a été dimensionné pour répondre aux deux objectifs suivants présentés dans la demande d'autorisation de travaux miniers avec des critères de précision et de fiabilité extrêmement sévères, compte tenu de l'aspect novateur et recherche appliquée du projet :

- Impact de l'injection sur le proche voisinage du puits,
- Suivi des éventuels dérangements mécaniques des terrains pouvant porter atteinte à l'intégrité du site de stockage (réajustement de failles, dérangements dans la couverture)

Les caractéristiques souhaitées du réseau sont précisées ci-dessous.

1. Effets au voisinage du point d'injection

- On vise la détection de microséismes dont les magnitudes sont inférieures à la valeur de -1.5 . Les phénomènes que l'on désire enregistrer sont des mécanismes de micro fracturations du réservoir, sur des longueurs inférieures au mètre et de magnitude de l'ordre de $-3/ -2.5$ à -1.5 .
- Événements ciblés dans un périmètre de l'ordre de 100 m autour de la zone d'injection
- Incertitude sur la localisation inférieure à ± 50 m.

Pour ces événements, il s'agit de phénomènes locaux près du puits, liés aux effets de l'injection de gaz au voisinage du point d'injection. Ils ne sont pas reliés avec des événements pouvant remettre en cause l'intégrité du site de stockage. Cet objectif sur le pilote de Rousse est un objectif de nature R&D, car les signaux correspondants sont rarement enregistrés sur des sites industriels où une injection est présente. Par ailleurs, la présence de ce type de signal sur le site de Rousse n'est pas prouvée, et de ce fait, l'écoute n'est pas assurée.

2. Dérangement mécanique des terrains

2a. Réajustement de faille / fracture

- On souhaite pouvoir détecter des micro séismes de magnitude inférieure à -1 , si possible jusqu'à -1.5 .
- Événements concernés : accidents en profondeur jusqu'à 1.5 km de distance de RSE-1
- Incertitude sur la localisation de ± 250 m

2b. Dérangement dans la couverture

- On vise la détection des micro-seismes de magnitude supérieure à la valeur de -1 .
- Événements concernés : dans la couverture, jusqu'à 1 km de distance de RSE1
- Incertitude sur la localisation de ± 250 m.

Pour ces événements susceptibles de porter atteinte à l'intégrité du site, on cherche à les détecter à partir de la magnitude de -1.5 (correspondant à des déplacements de discontinuités de l'ordre de 1 à 3 m de longueur).

Ce souhait est ambitieux compte tenu de la taille de l'objet mentionné en comparaison de la profondeur (1 à 3 m versus 2000 à 4500 m). Cependant, il n'est pas irréaliste compte tenu du fait que le suivi microsismique sur le champ de Lacq Profond montre qu'avec un réseau beaucoup moins performant que celui envisagé sur Rousse, les événements de magnitude -1.5 sont enregistrés et localisés.

Dans le cas du pilote, avec une remontée de pression très limitée, et un niveau de pression en fin d'injection très inférieur à la pression initiale de 485 bars, la couverture ne peut pas être le siège de création de fractures. Toutes les études préalables montrent que seules, les discontinuités existantes pourraient être les vecteurs d'une éventuelle migration de CO₂, le système de surveillance a donc pour objectif de vérifier que c'est bien le cas.

3.2 Description du réseau

Antennes de subsurface

Le dispositif de subsurface est constitué de 7 puits d'une profondeur de 200 m, disposés approximativement pour 6 d'entre eux sur les sommets d'un hexagone d'un rayon de l'ordre de 2000 m, centré sur le puits injecteur et pour le septième puits, près du puits injecteur RSE-1 (figure 1). Les 7 antennes de subsurface permettent de couvrir l'aplomb du réservoir Mano.

Dans chaque puits sont implantés 4 capteurs microsismiques 3 composants espacés de 20 m, figure 2. La profondeur des capteurs est suffisante pour s'affranchir des bruits de surface.

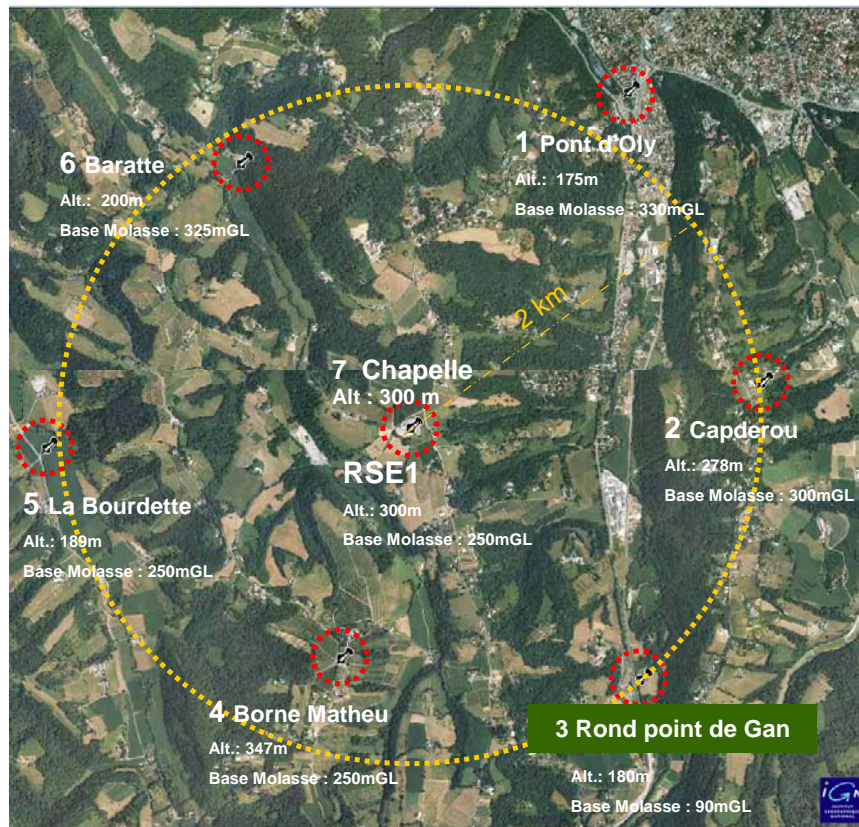


Figure 1 : Implantation des 7 puits de subsurface

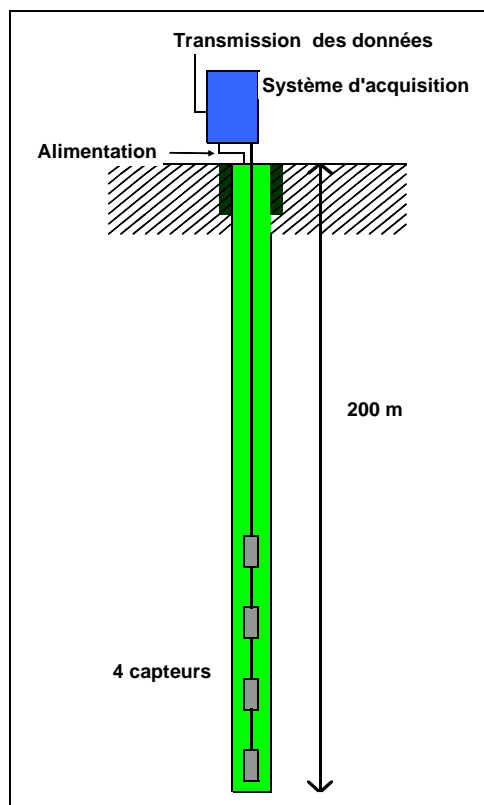


Figure 2 : Schéma d'équipement des puits de subsurface

Antenne sur le puits de Rousse-1

Une antenne constituée de trois sondes sismiques sur RSE-1 a été installée sur la complétion de Rousse-1 en mars 2009. Les sondes sismiques sont constituées d'accéléromètres trois composantes x, y et z et sont positionnées aux cotes de 4180, 4280, et 4380 m. Les informations fournies par ces équipements sont retransmises en tête de puits par des fibres optiques (figure 3).

Sismomètre

En addition, un sismomètre de surface installé à proximité immédiate d'une des 7 stations de subsurface permet d'enregistrer les séismes régionaux.

Performances du réseau

Le réseau micro sismique constitué des sept antennes de subsurface et de l'antenne sur RSE-1 a été mis en place pour :

- répondre à un objectif R&D en ce qui concerne la détection d'événements de très petite énergie près du puits,
 - vérifier l'absence de dérangements mécaniques qui pourraient porter atteinte à l'intégrité du site,
- avec des critères de détection et de localisation extrêmement sévères.

Pour répondre à la question du nombre minimal de détecteurs nécessaire à la surveillance, on note que, en terme de détection, dans le cas d'une défaillance de l'antenne RSE-1, quelque soit le nombre d'antennes subsurface en fonctionnement, les événements recherchés susceptibles de porter atteinte à l'intégrité du site sont

- bien identifiés : le seuil de détection est de l'ordre de -1.5,
- d'autant moins bien localisés que le nombre d'antennes opérationnelles diminue.

En associant aux critères initiaux de localisation une tolérance légèrement plus élevée sur l'incertitude, l'examen des conditions de fonctionnement du réseau permet les réponses suivantes :

- pendant les périodes d'injection ; le nombre minimal d'antennes subsurfaces est, quelque soit le statut de l'antenne sur Rousse-1 de cinq antennes. Quatre antennes sont acceptables pour une configuration bien précise : antenne centrale + trois antennes également réparties à la périphérie
- hors injection, le nombre minimal d'antennes nécessaires à la surveillance du site de stockage, est dépendant du statut de l'antenne sur RSE-1.
 - trois antennes si un capteur au moins de l'antenne sur RSE-1 est opérationnel,
 - cinq antennes si l'antenne sur RSE-1 est non opérationnelle. Quatre antennes sont acceptables pour une configuration bien précise : antenne centrale + trois antennes également réparties à la périphérie

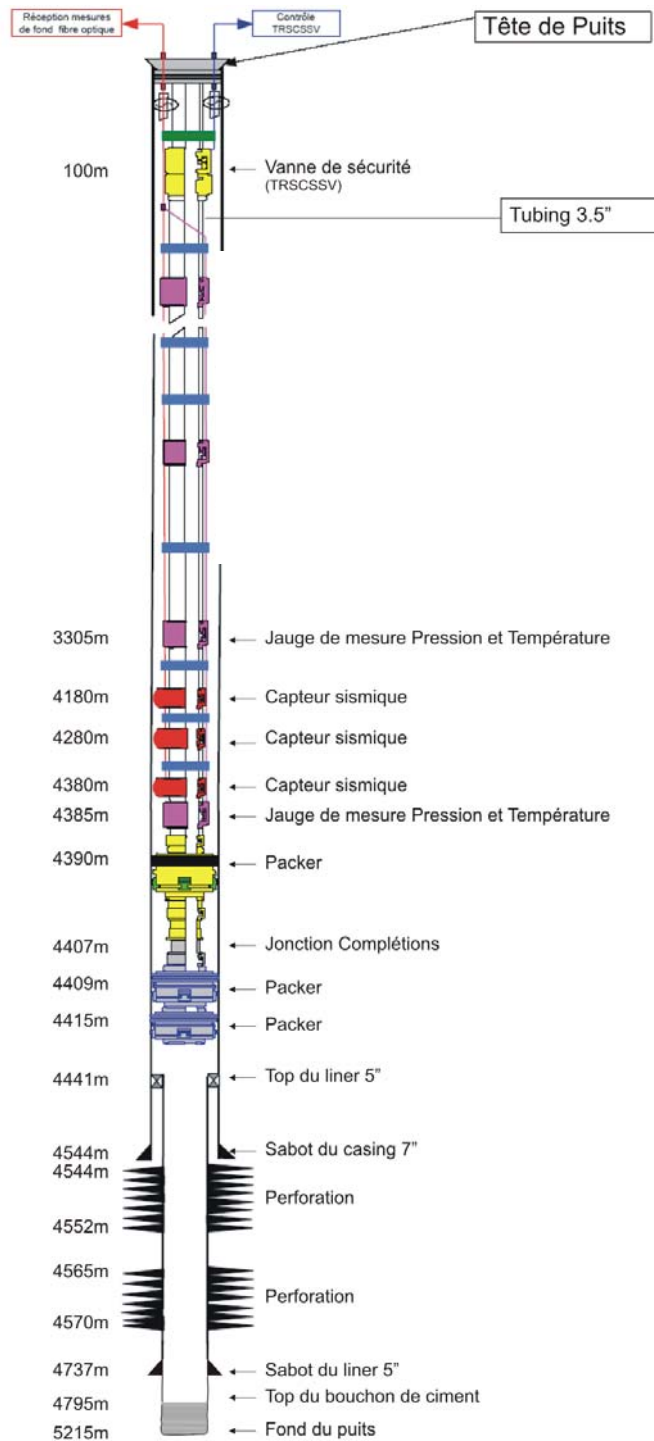


Figure 3 : Schéma d'équipement du puits Rousse-1

3.3 Procédures de surveillance

Procédure d'écoute et traitement de l'information

La procédure d'écoute et la maintenance du système sont gérées par la société Magnitude

Chaque antenne dispose de sa propre station d'acquisition 12 voies (4x3=12 voies), installée en surface, dans une armoire dédiée, au niveau de la tête de puits. Chaque armoire sismique possède :

- Une station 12 voies,
- Un GPS (synchronisation temps universel des traces sismiques),
- Une alimentation secteur,
- Une connexion ADSL pour la télésurveillance et le transfert des données.

L'acquisition est continue. Le contrôle des stations d'acquisition se fait depuis les bureaux de Magnitude via ADSL. L'outil de supervision est basé sur une interrogation automatique à intervalle de temps régulier de l'ensemble des stations du réseau (au moins toutes les minutes, pseudo temps réel). Cette interrogation périodique permet de suivre le fonctionnement, et de rapatrier les données acquises par chaque station.

Dans chaque station d'acquisition (Kephren), un algorithme de déclenchement de type STA/LTA calcule les variations du niveau de bruit et les compare au seuil prédéfini. Lors des interrogations régulières, une liste des traces sismiques ayant dépassé le seuil est créée ; puis la totalité des données provenant de toutes les stations est rapatriée. Les informations sont ainsi automatiquement téléchargées toutes les minutes, mais peuvent également être téléchargées à la demande en cas de besoin.

Les données sismiques, une fois rapatriées dans les bureaux de Magnitude, sont triées automatiquement de façon à éliminer les bruits, et de ne conserver que les événements sismiques. Les événements sismiques sont traités et localisés de manière semi-automatique avec revue manuelle pour constituer la base de données dite « bulletin sismique ». Les événements sont ensuite localisés.

Un compte rendu d'activité est émis régulièrement par la société Magnitude en incluant le fonctionnement de l'ensemble du système d'acquisition, le bulletin sismique et les cartes de localisation des éventuels séismes internes ou externes.

L'ensemble de la procédure est en application depuis la mise en service de la première antenne. Elle est valable avant injection, pendant, après l'injection et durant toute la durée de l'autorisation du projet.

Lien avec les modèles géologiques

Si des événements liés au site de Rousse sont détectés et localisés, les hypocentres de ces micro séismes seront positionnés dans les modèles géologiques représentant l'image 3D de la structure de Rousse.

Cela permettra de suivre la progression des éventuels événements en trois dimensions et de les associer à des objets (réservoir, couverture, failles,...) en prenant en compte les incertitudes de localisation des événements.

3.4 Ligne de base

Le fonctionnement de la première antenne a été effectif le 26 mars 2009. Puis la seconde a été mise en service le 19 juin 2009 et les deux suivantes au 1 juillet 2009. Deux autres ont été connectées au 8 octobre, la dernière a été opérationnelle fin octobre 2009.

D'après ce qui précède, les événements internes de magnitude supérieure à -1.5, si ils existent, sont enregistrés depuis le 26 mars 2009.

Au 15 octobre, après 7 mois d'écoute, les événements enregistrés par les antennes présentes sont des événements externes au site de Rouse. Ils concernent principalement l'activité de la faille Nord Pyrénéenne, et ses failles relais, et l'activité de failles locales au nord ouest de Pau. Les magnitudes de ces événements sont comprises entre 1.5 et 3.9. Des signaux relatifs à des événements plus lointains sont également détectés comme le séisme du 29 septembre 2009 aux Îles Samoa. Aucun événement interne au site de Rouse n'a été enregistré.

Le tableau 1 fournit la liste des séismes captés par le réseau microsismique de Rouse. La majorité des informations proviennent des bases sismologiques du RénaSS : Réseau National de Surveillance Sismique.

Date	Heure	X	Y	Z	Magnitude	Localisation
15/10/2009	22:27:52	43.08	0.2	5	3.9	SSE Tarbes
15/10/2009	13:52:14	Non détecté par RENASS			1	16 km SE de RSE1
13/10/2009	17:33:47	43.48	-0.52	2	2.3	NW Pau
13/10/2009	14:08:23	43.06	-0.09	2	1.5	SSW Tarbes
13/10/2009	04:49:29	43	-0.04	5	2.4	SSW Tarbes
12/10/2009	10:52:29	43.07	-0.6	5	1.7	ESE Aramits
09/10/2009	21:35:25	43.45	-0.58	2	1.8	NW Pau
08/10/2009	12:55:14	43.51	-0.63	5	2.3	NW Pau
06/10/2009	11:23:38	43.12	-0.48	5	1.9	SW Pau
06/10/2009	04:14:46	43.41	-0.16	5	1.9	NE Pau
05/10/2009	20:01:38	43.01	-0.08	5	2.2	SW Tarbes
30/09/2009	07:07:22	43.45	-0.57	5	2.2	NW Pau
29/09/2009	18:07:44	-14.58	-169.1	10	8.1	Iles Samoa
29/09/2009	13:21:09	Non détecté par RENASS			1.5	14 km Sud RSE1
25/09/2009	21:47:59	43.1	-0.52	5	1.9	Est Aramits
22/09/2009	13:04:21	Non détecté par RENASS			1.5	16 km S de RSE1
20/09/2009	12:20:14	43.03	-0.4	5	2.2	Sud Pau
19/09/2009	22:15:27	43.15	-0.57	5	1.8	NE Aramits
17/09/2009	14:03:58	Non détecté par RENASS			1.5	16 km SE de RSE1
15/09/2009	03:49:20	43.21	-0.34	5	3.1	17 km SE de RSE1
13/09/2009	03:20:27	Non détecté par RENASS			1	20 km SE de RSE1
10/09/2009	13:04:35	Non détecté par RENASS			0	15 km SE de RSE1
09/09/2009	18:49:19	Non détecté par RENASS			2.4	SW Tarbes
09/09/2009	18:49:19	43.01	-0.1	5	2.4	SW Tarbes
02/09/2009	07:58:12	Non détecté par RENASS			0.5	15 km SW de RSE1
01/09/2009	21:17:28	Non détecté par RENASS			0	14 km SW de RSE1
30/08/2009	18:22:08	Non détecté par RENASS			1.6	15 km SW de RSE1
30/08/2009	18:22:08	43.13	-0.47	2	1.6	15 km SW de RSE1
26/08/2009	05:17:01	42.99	-0.5	5	1.9	Pyrénées W
23/08/2009	17:30:27	43.21	-0.6	8	3.2	14 km SW RSE1
18/08/2009	15:57:19	43.24	-1.03	5	2.1	Pyrénées W
18/08/2009	15:22:31	43.14	-1.17	5	2	Pyrénées W
14/08/2009	17:04:33	42.91	-0.88	5	2	Pyrénées W
13/08/2009	20:03:31	42.55	0.01	2	2.9	Pyrénées S
11/08/2009	06:16:36	43.05	-0.25	2	2.2	SW Lourdes
06/08/2009	10:25:17	43.22	-0.48	2	3.6	7 km SW de RSE1
29/07/2009	23:34:16	43.1	-0.24	10	3	Ouest de Lourdes
16/07/2009	04:45:18	43.02	-0.01	2	2.5	SE de Lourdes
13/07/2009	22:42:09	43.55	-0.61	2	3.1	NW de Pau
01/07/2009	18:41:48	43.06	-0.34	2	2.2	Sud de Pau

20/06/2009	10:14:32	43.04	0.16	2	2.9	SE de Lourdes
19/06/2009	13:59:21	43.03	-0.06	2	2.9	Sud de Lourdes
17/06/2009	01:36:40	43.01	-0.63	5	2.2	Sud de Pau
11/06/2009	07:24:27	43.09	0.05	15	2.8	Est de Lourdes
02/06/2009	11:38:46	43.08	-0.6	5	2.2	SW de Pau
17/05/2009	01:44:06	43.08	-0.32	5	2.3	Sud de Pau
09/05/2009	09:53:00	43.07	-0.63	2	1.8	Sud de Pau
04/05/2009	17:02:14	43.03	-0.48	2	1.9	Sud de Pau
22/04/2009	23:50:14	43.46	-0.53	2	2.4	NW de Pau
21/04/2009	00:33:09	43.02	-0.4	5	2.1	Sud de Pau
05/04/2009	00:06:35	43.09	0.21	10	2.8	20 km SE Tarbes

Tableau 1 : Séismes détectés par le réseau microsismique de Rousee

Les informations de ce tableau sont :

- ❖ La date et l'heure du séisme, temps universel
- ❖ La position X, Y et Z estimés par le Rénass avec son réseau de surface en place
- ❖ La magnitude du séisme ressenti à l'épicentre, estimée par cet organisme ou estimée par la société Magnitude (si non détecté par le Rénass)

La figure 4 fournit la cartographie des événements régionaux enregistrés par le réseau de Rousee dès sa mise en service et jusqu'au 15 octobre 2009.

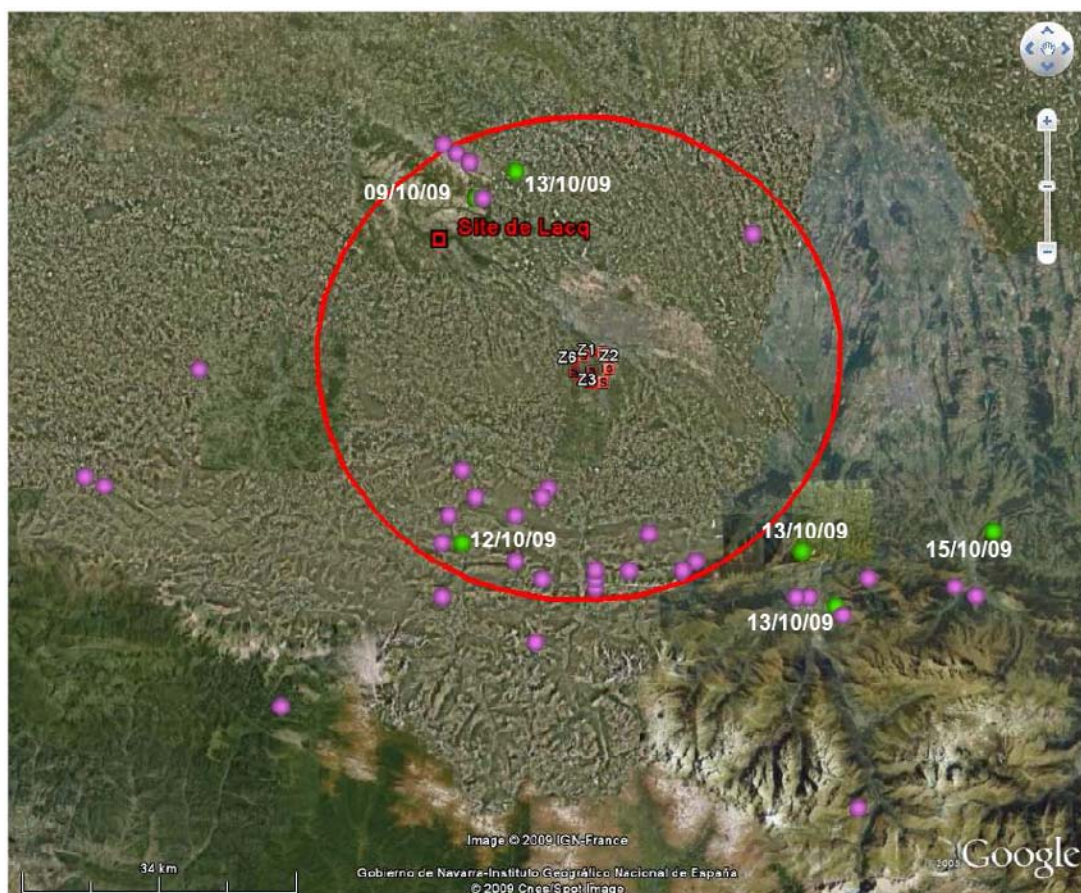


Figure 4 : Cartographie des événements sismiques détectés par le réseau de Rousee.

Le cercle rouge correspond à la limite théorique des détections de séismes de magnitude inférieure à 1.8 par le réseau de Rousee.