

ÉLÉMENTS D'ANALYSE DE MICROSISMICITÉ POUR DES EXPÉRIENCES HYDRAULIQUES. CAS DE L'EXPÉRIENCE DE STIMULATION HYDRAULIQUE DU 13 AU 23 SEPTEMBRE 2004 (SOULTZ-SOUS-FORÊTS, BAS-RHIN, FRANCE)- ÉVENTUELLE APPLICATION EN ALGÉRIE.

Fouzi BELLALEM*, Mourad MOBARKI*, Kamel BADDARI et Mabrouk DJEDDI****

RÉSUMÉ

Face aux besoins énergétiques mondiaux, grandissant de façon irrémédiable, la géothermie des roches fracturées a le potentiel nécessaire pour constituer un défi pour les besoins économiques. Devant cet intérêt, plusieurs projets européens ont été lancés, dont le programme européen de géothermie profonde de Soultz-sous-Forêts (Bas Rhin). Ce programme désigné par EGS (Enhanced Geothermal Systems ou Systèmes Géothermiques Améliorés), utilise l'anomalie géothermale du graben rhénan pour la création d'un échangeur thermique profond afin de produire de l'énergie géothermique extraite des roches fracturées. Après 16 ans d'activité, un forage profond (GPK4) a été réalisé afin d'accroître la connectivité des zones de perméabilité artificiellement améliorées.

Dans cette étude, nous mettons en évidence l'utilisation des outils d'étude et d'analyse de la microsismicité, tant du point de vue de l'instrumentation que du traitement des données. Nous prenons comme exemple la campagne de la stimulation hydraulique de septembre 2004 (Soultz-sous-Forêts, Bas-Rhin, France). Dans ce cadre, nous analysons pour la période allant du 13 au 23 septembre 2004, la microsismicité induite par la stimulation hydraulique. Durant cette période plus de 1500 séismes ont été enregistrés par le réseau déployé tout autour du puits. La localisation de ces événements fait intervenir l'ensemble des stations du réseau. L'étude détaillée des solutions focales de 277 événements dont la magnitude varie entre 0.3 et 2.0, nous a permis de caractériser les fractures à l'origine des microséismes.

Mots clé - Géothermie - Stimulation hydraulique - Activité microsismique - Programme européen EGS-Hypoinverse - Ppfit.

**ELEMENTS OF ANALYSIS OF MICROSEISMICITY FOR HYDRAULIC
EXPERIMENTS. CASE OF THE HYDRAULIC STIMULATION EXPERIMENT
FROM THE 13th TO 23rd OF SEPTEMBER, 2004 (SOULTZ-SOUS-FORÊTS,
BAS-RHIN, FRANCE) – POSSIBLE APPLICATION IN ALGERIA.**

ABSTRACT

Facing the world energy needs, growing in an irremediable way, the geothermal energy from hot, fractured rocks has the available potential to constitute a challenge for these economic needs. For this purpose, several European projects were launched; one of which is the Deep

*Département Etudes et Surveillance Sismique Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique. CRAAG. BP. 68 Bouzaréah, 16348, Alger.

**Université M'hamed Bougara (Boumerdes). Laboratoire de Physique de la Terre.

- Manuscrit déposé le 08 Mars 2006, accepté après révision le 21 Avril 2007.

Geothermal European Programme. The latter is situated in the Soultz-sous-Forêts area (Bas Rhin, France). This program called EGS (Enhanced Geothermal Systems) uses the geothermal anomaly of the Rhine graben for the creation of a deep heat exchanger in order to produce geothermal energy extracted from the fractured rocks. After 16 years of activities in Soultz, a deep bore hole (GPK4) was drilled in order to increase the connectivity in the zones of artificially improved permeability. In this study, we analyse for the period from the 13th to the 23rd of September 2004, the micro seismicity produced by hydraulic stimulation. During this period, the seismic network, covering the region around the well position, recorded more than 1500 microseisms. The localization of these events involves all the stations of the network. The detailed study of 277 focal solutions events of which the magnitude varies between 0.3 and 2.0, allows us to characterise the microfractures which generate the earthquakes.

Key words - Geothermal energy - Hydraulic stimulation - Microseismic activity - European EGS program - Hypoinverse - Fpfit.

INTRODUCTION

Le site expérimental choisi se trouve sur le flanc ouest du fossé rhénan, et est situé à 50 km au Nord de Strasbourg (fig. 1). Il est considéré comme représentatif des conditions qui règnent dans les régions de « graben » où les roches profondes sont « naturellement » fissurées. De telles régions couvrent de vastes étendues en Europe et dans le monde, dont environ 30000km² sous la seule surface du territoire français métropolitain.

Pour illustrer l'ampleur de la ressource accessible, il faut mentionner à titre indicatif, que la « mise en exploitation géothermique » de 3 % seulement de la surface de cette « réserve de premier rang » et cela sur un seul premier kilomètre de hauteur (entre 4500 et 5500 m par exemple), pourrait assurer en continu une production électrique équivalente à celle d'une dizaine de centrales nucléaires pendant plusieurs décennies (Helm, 1996). Il suffirait ensuite de laisser le flux thermique de la planète recharger le potentiel des volumes refroidis, de quelques dizaines de degrés seulement, après l'exploitation initiale. Notre étude s'intéresse à la surveillance de la microsismicité générée par la microfracturation des roches due à l'injection de l'eau au niveau du puit (GPK4).

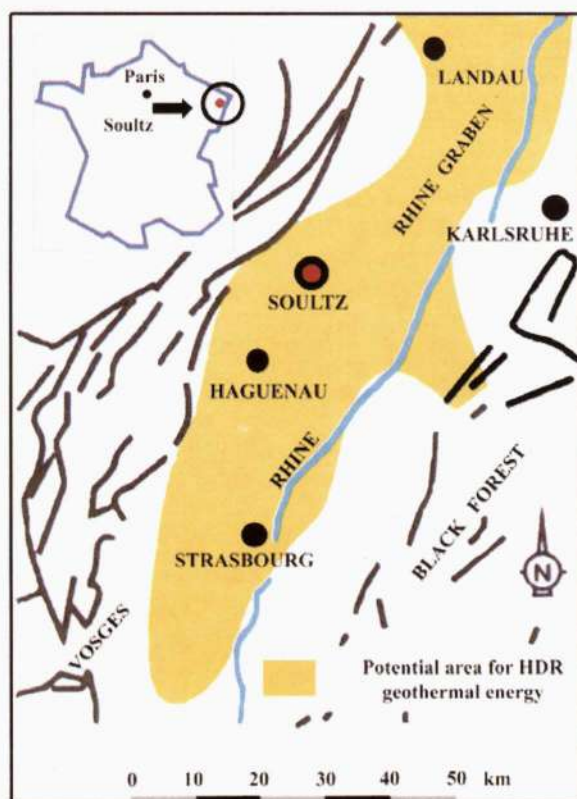


Fig.1 - Situation géographique du site géothermique (Baujard et Bruel, 2005)

Geographical location of geothermal site (Baujard and Bruel, 2005)

ACQUISITION DES DONNÉES

Une expérience d'injection hydraulique a été réalisée durant la période du 13 au 23 septembre 2004 avec un débit prédominant de 30 l/s (BARIA *et al.*, 2005). Afin d'analyser la microsismicité induite par injection d'eau à haute pression au niveau du puits GPK4 (fig. 2), un système d'acquisition sismologique a été déployé tout autour de la région d'étude. Il se compose de 2 réseaux, l'un en surface, composé de huit sismomètres à une composante verticale et de 3 sismomètres à trois composantes (Dorbath *et al.*, 2005) ainsi que d'une station large bande. Notons aussi que trois stations permanentes appartenant au RéNaSS (Réseau National de Surveillance Sismique) ont été incorporées dans le réseau. Le second réseau implanté en profondeur dans des puits d'observation à environ 1500 m de profondeur, est composé de trois accéléromètres et de 2 géophones (fig. 3).

Les données enregistrées par les stations permanentes sont transférées et stockées automatiquement au niveau du laboratoire de surveillance par voie hertzienne (en temps réel). Par contre les enregistrements des stations mobiles et celles des puits, sont stockés dans

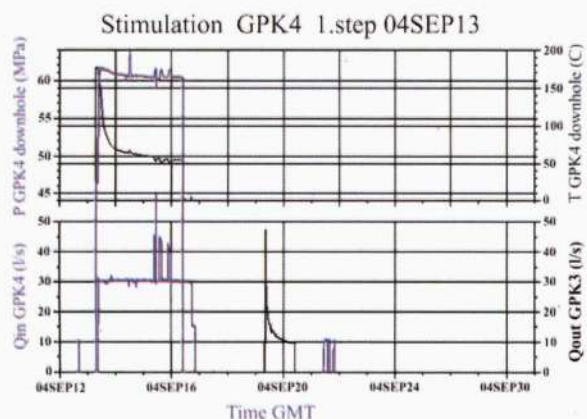


Fig. 2 - Données hydrauliques lors de la stimulation effectuée en septembre 2004 (Charl  t   *et al.*, 2005)

Hydraulic data during the stimulation carried out in September 2004 (Charl  t   and al., 2005)

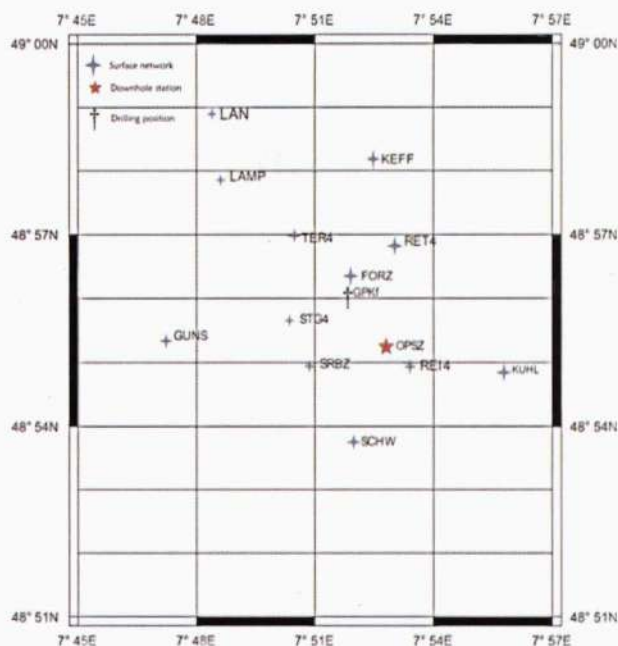


Fig. 3 - Principales stations d'enregistrement des données sismiques au niveau du site (GPK4)

Main recording seismic stations at the site of study

des cartes mémoires, permettant leur rapatriement quotidiennement. Durant la période du 13 septembre au 23 septembre 2004 plus de 1500 microséismes, de magnitude variant entre -0.30 et 2.0, ont été enregistrés.

TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

a) Localisation des microséismes

Durant cette phase nous proc  derons en deux étapes.

La première étape, consiste à pointer manuellement le temps d'arrivée des ondes P et S ainsi que la polarisation de l'onde P. Il est établi que cette dernière donnée est fondamentale pour déterminer la solution focale du séisme. Pour des modalités pratiques, les résultats sont automatiquement stockés dans des fichiers contenant des informations sur les temps

OPSZIPD1	030913112841.72	42.81 S 2
FORZIPD1	030913112841.73	42.88 S 2
SURZIPC1	030913112841.78	42.91 S 2
SCH3IPD1	030913112841.86	
KUH3IPC1	030913112842.11	
KEF3IPD1	030913112842.25	
LAM3IPD1	030913112842.31	
LAN3IPC1	030913112842.43	
GUN3IPD1	030913112842.99	

Fig. 4 - Exemple de fichier de sortie du programme de pointé, les trois premiers caractères correspondent au nom de la station, le quatrième caractère correspond au type de station. La deuxième colonne donne la date et l'heure de l'évènement, on trouve aussi dans cette colonne le temps d'arrivée des ondes P. La troisième colonne donne le temps d'arrivée des ondes S.

Example of output file of the picking program, the first three characters correspond to the name of the station, then the fourth character corresponds to the type of station. The second column gives the date and the time of the event. We can also find in this column the arrival time of P wave. The third column gives the arrival time of S waves.

d'arrivée des ondes P et S, sur la polarisation de l'onde P ainsi que sur la qualité du pointé. Notons que, le pointé des signaux se fait visuellement à l'aide d'un programme interactif développé par des chercheurs de l'EOST. Les valeurs ci-dessus correspondent à un séisme ayant eu lieu le 13 septembre à 11h28. Ce dernier événement a été enregistré par le réseau permanent.

Un premier tri a été effectué sur les 1500 événements enregistrés, permettant la sélection de 278 événements dont les enregistrements ont été considérés riches en information par rapport à la détermination des temps d'arrivée et la commodité de lecture de la polarisation.

Une fois les données recueillies, la deuxième étape de notre démarche consiste à localiser les microséismes. Différents programmes existent de nos jours, fonctionnant sous différentes plateformes, tant sous Windows que sous Unix ou encore Linux. Dans le cadre de cette étude nous avons choisi d'utiliser le programme Hypoinverse (Klein, 1978). Théoriquement, il s'agit de calculer les 3 coordonnées spatiales et le temps origine du séisme. Explicitement, les

résultats sont déterminés à partir des équations suivantes :

$$t_{pt} - t_0 = \frac{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}}{V_p} \quad 1$$

$$t_{si} - t_0 = \frac{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}}{V_s} \quad 2$$

Où :

x_i, y_i, z_i sont les coordonnées de la station considérée

x_0, y_0, z_0 sont les coordonnées épicentrales du séisme recherché

t_{pi}, t_{si} les temps d'arrivée des ondes P et S

t_0 le temps origine du séisme

Pour des raisons de commodité du calcul, on doit rendre le système linéaire. La linéarisation du système(1,2) se fait à partir d'un développement limité. Ensuite, le système est résolu par l'inverse généralisé de la matrice qui lie les coordonnées spatiales et le temps d'origine des événements aux temps d'arrivée des ondes P et S.

Pour évaluer la qualité de l'inversion, plusieurs critères sont utilisés. Entre autres, le RMS (Root Mean Square) ou bien l'écart moyen quadratique est un bon indicateur de la dispersion des observations autour de la vraie valeur.

$$RMS = \sqrt{\sum_{Stations} (t_{observé} - t_{calculé})^2} \quad 3$$

Si on a un RMS proche de 0, cela signifie que l'inversion est numériquement bonne.

Concernant notre étude, le modèle de vitesse a été obtenu à partir de log de données du puits, ce dernier est donné par le tableau suivant :

Tableau I - Modèle de vitesse utilisé pour la localisation des événements
velocity model used for events localization

Profondeur (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)
0.00	1.85	0.86
0.25	2.36	1.10
0.45	2.63	1.24
0.65	3.15	1.47
0.85	3.71	1.73
1.05	4.54	2.13
1.53	5.48	3.13
1.80	5.80	3.31

b) Analyse des mécanismes aux foyers des événements localisés

Dans le but de déterminer le type et l'orientation des fractures, ainsi que la direction de glissement des blocs sur le réseau de fracturation, il est important de déterminer le type de mécanisme à l'origine des séismes. La théorie des mécanismes au foyer utilise la polarité de l'onde P comme donnée.

Dans cette étude, la détermination de la solution focale pour les microséismes a été réalisée automatiquement à l'aide du programme FPFIT (Reasenberget et Oppenheimer, 1985). Ce

dernier utilise la méthode du maximum de vraisemblance pour calculer les erreurs statistiques effectuées sur la détermination des plans nodaux et fournit les solutions multiples. L'analyse a été accomplie sur tous les événements issus de la localisation. Un contrôle manuel (vérification des incertitudes sur les différents paramètres caractérisant les deux plans nodaux) des solutions focales nous a permis de choisir les différents événements (108 séismes) dont quelques-uns sont présentés en annexe.

Interprétation des résultats

Après traitement et analyse des données de la localisation, uniquement 277 séismes ont été retenus dont le RMS est inférieur ou égal à 0.04. Ce choix est dû à des considérations purement techniques pour une bonne interprétation de la localisation des événements.

Ces résultats sont présentés sous forme de graphes 5a, 5b, 5c.

L'interprétation de ces graphes nous donne une idée sur l'évolution spatiale de la sismicité à partir de laquelle on conclut les observations suivantes:

- les graphes 5a, 5b, 5c montrent qu'il y a une dépendance entre la sismicité et les injections massives réalisées dans les forages. En effet, l'activité microsismique est importante dans les premiers jours qui suivent l'injection d'eau à haute pression au niveau du puits.
- Le nuage des points a une extension de 1.7 km
- L'essai des points a une direction en générale nord-sud
- La profondeur s'étend de 3.7km à 6km.

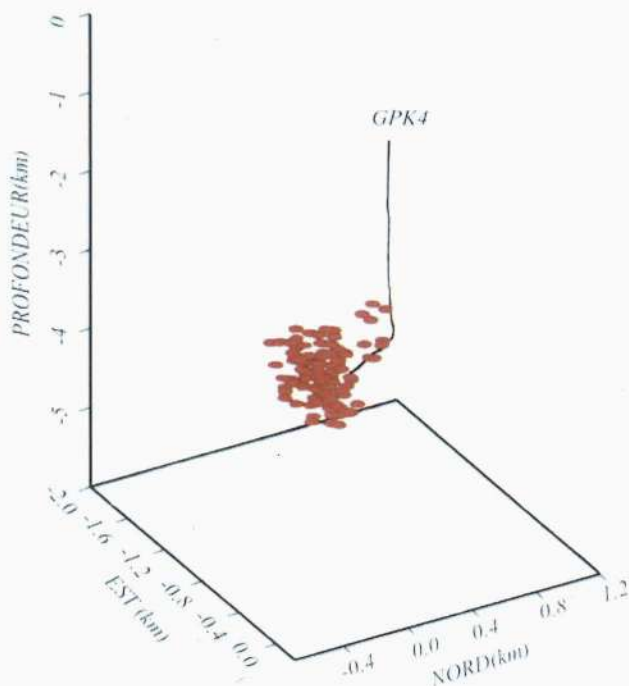


Fig. 5a - Stimulation septembre 2004- après 3 jours
Stimulation of september 2004 - after 3 days

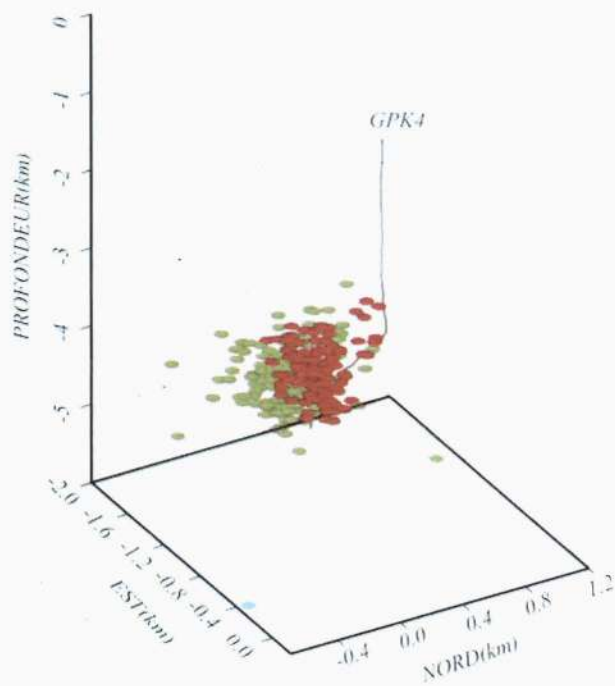


Fig. 5b - Stimulation septembre 2004- après 6 jours
Stimulation of september 2004 - after 6 days

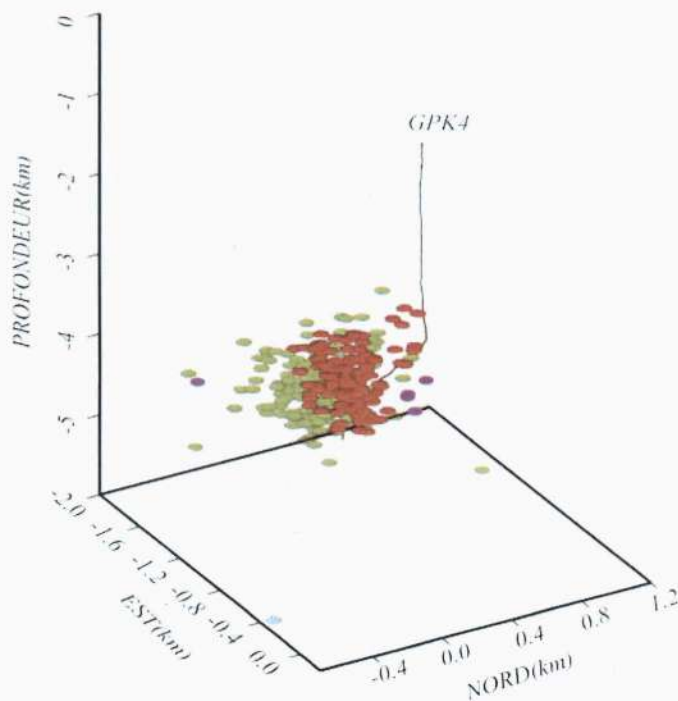


Fig. 5c - Stimulation septembre 2004- après 10 jours
Stimulation of september 2004 - after 10 days

Après analyse complète de nos événements issus de l'examen des solutions focales et suite aux différentes vérifications des incertitudes sur les différents paramètres caractérisant les deux plans nodaux, on a retenu uniquement 108 séismes qui ont une solution focale interprétable. D'après les graphes obtenus, le mécanisme de la rupture est de type normal avec une composante décrochante. Ce qui correspond au régime d'extension qui domine dans la région du fossé rhénan. Les solutions focales fournies sont la preuve que c'est effectivement des fractures naturelles qui sont réactivées (en shearing), impliquant donc des solutions en double couple et non pas des fractures qui seraient créées. Celles-ci corroborent les travaux réalisés antérieurement par d'autres chercheurs (Cuenot *et al.*, 2005).

ÉVENTUELLE APPLICATION EN ALGÉRIE

Nous commençons tout d'abord par donner un aperçu géomorphologique et citer les principales ressources géothermales de l'Algérie

a) Aspects structuraux et ressources géothermales

D'un point de vue morphologique, l'Algérie comprend quatre grands domaines du nord au sud (fig. 6):

L'Atlas tellien est la région la plus exposée aux tremblements de terre. Cette zone appartient à l'orogène alpin méditerranéen qui a formé pendant cette phase des faisceaux de plis orientés est-ouest. Cette région est principalement composée d'une succession de reliefs (dont le mont du Djurdjura culminant à une altitude de 2308m), jalonnés de bassins et bordés de plaines côtières qui comptent aujourd'hui la plus forte concentration humaine du pays.

Les hauts plateaux ou hautes plaines constituent la zone autochtone, c'est l'autochtone sud tellien. Ils constituent aussi l'avant-pays de la ceinture alpine d'Algérie. Ils sont connues sous le nom de hautes plaines oranaises (ou Méséta oranaise) pour celles qui vont de la frontière marocaine jusqu'au méridien de Cherchell, des hautes plaines algéroises au sud de l'Algérois et encore plus à l'est viennent les hautes plaines constantinoises qui se terminent en pointe, reliées par la chaîne du Hodna qui est légèrement chevauchée par l'Atlas saharien (Belhaï, 1996).

L'Atlas saharien s'étend depuis la frontière algéro-marocaine à l'ouest jusqu'aux bordures des régions de la steppe (Djelfa, Bousaâda, Biskra) et se poursuit jusqu'en Tunisie en passant par les Aurès-Nememcha. Il est séparé des hauts plateaux par des failles en échelon qui se suivent d'ouest en est. Elles forment l'accident Nord atlasique (ANA). Ce domaine est formé de sédiments allant du Trias à l'Eocène avec le Mio-Plio-Quaternaire discordant (Belhaï, 1996).

La plate forme saharienne est une zone qui est caractérisée principalement par les bassins sédimentaires qui constituent les réservoirs d'hydrocarbures et la grande nappe géothermale albienne (fig. 7).

Dans la partie nord, les réservoirs géothermiques sont discontinus et principalement contenus dans les formations jurassiques et crétacées.

Les couches calcaires des nappes telliennes constituent les principaux réservoirs géothermiques. Ces réservoirs sont généralement situés de 500 m à 1000 m de profondeur à l'ouest et plus profondément à l'est (1000m-2600m). Ils sont associés à de nombreuses sources thermales et certains d'entre eux ont été atteints par des forages. Les eaux chaudes présentent des températures allant de 22°C à 98°C.

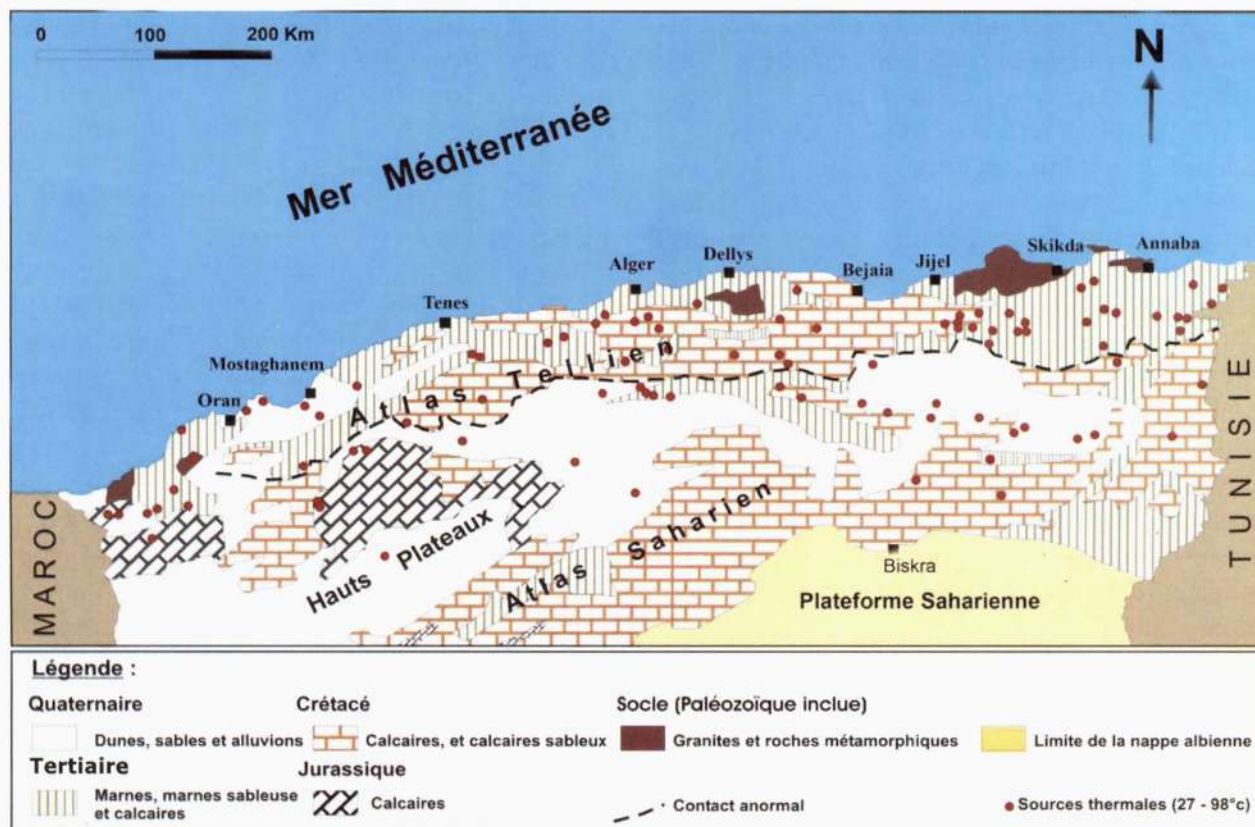


Fig. 6 - Esquisse géologique du Nord de l'Algérie (Fekraoui et Kedaid, 2005, modifiée)

Geological sketch map of northern Algeria (Fekraoui et Kedaid, 2005, modified)

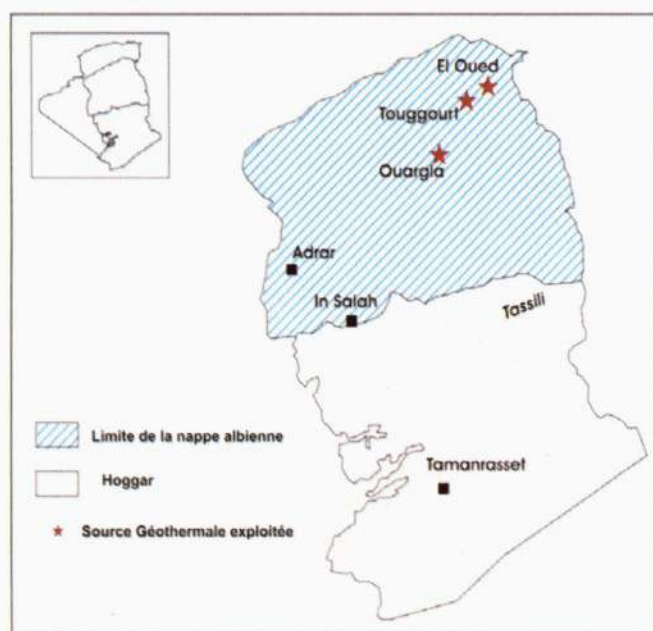


Fig. 7 - Représentation de la nappe albiennne et ses différentes sources géothermales (Fekraoui et Kedaid, 2005, modifiée)

Representation of the albian layer and its various geothermal sources (Fekraoui et Kedaid, 2005, modified)

La partie du Sud algérien constitue un vaste réservoir géothermique qui s'étend sur plusieurs milliers de km² (fig. 7). Ce réservoir, appelé communément "*nappe albiennne*" est exploité à travers des forages à plus de 4 m³/s. La température moyenne de l'eau de cette nappe est de 57° C (Fekraoui et al., 1995).

L'association du débit d'exploitation de la nappe albiennne et du débit total des sources thermales, donne une puissance qui est de l'ordre de 700 MWt (Fekraoui et Abouriche, 1995).

b) Potentiel et possibilités d'applications de l'énergie géothermique en Algérie

Plus de deux cents (200) sources géothermales ont été inventoriées dans la partie septentrionale de l'Algérie. Environ un tiers d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. La figure 8 illustre le gradient thermique.

Celle-ci permet de mettre en évidence trois zones dont le gradient dépasse 5°C/100m.

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone de Ain Boucif et Sidi Aïssa
- Zone de Guelma et Djebel el Onk

La géothermie en Algérie est de type "*moyenne température*". Donc l'utilisation calorifique s'avère possible au moyen d'un échangeur de chaleur qui transmet les calories du fluide géothermique à un fluide de chauffage. Différentes applications liées à ce type de chauffage sont possibles : balnéothérapie, usages industriels, pisciculture, locaux industriels et agricoles.

D'autre part, la production d'électricité est envisageable par un turbogénérateur à fluide organique, selon le cycle ORC (Organic Rankine Cycle), porteur du nom de son inventeur William Rankine, ingénieur physicien britannique. Ce

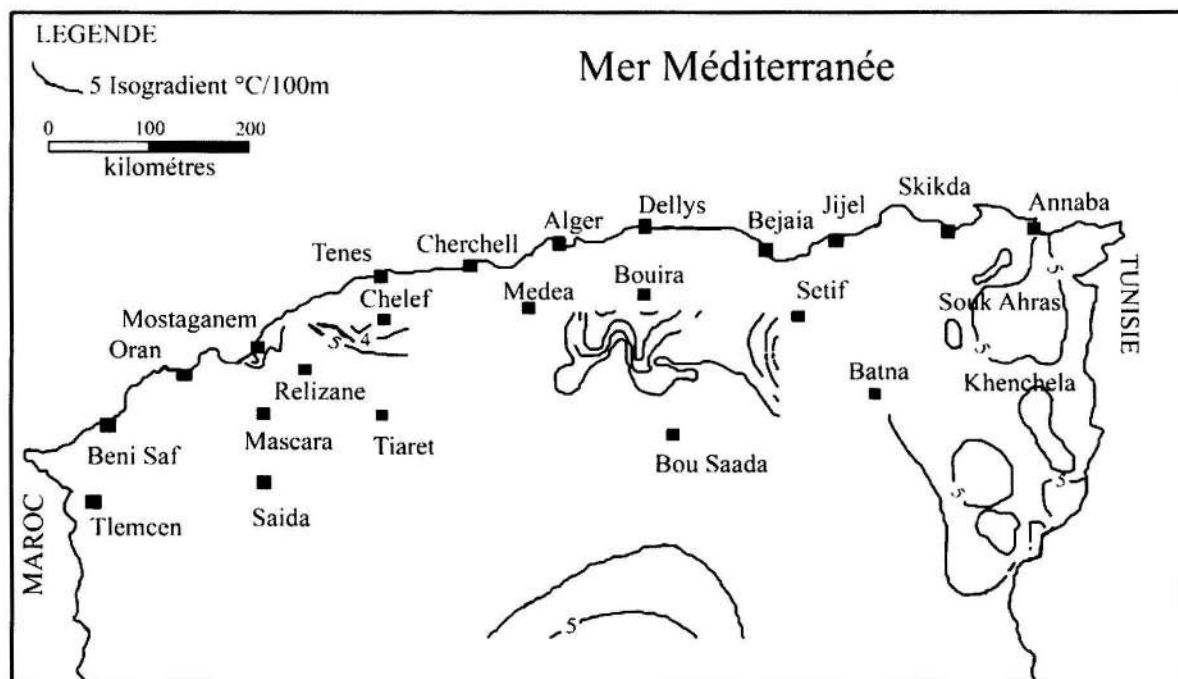


Fig. 8 - Esquisse du gradient géothermique au Nord de l'Algérie (Kedaid et al., 1988)

Sketch map of geothermal gradient in the North of Algeria (Kedaid and al., 1988)

procédé permet l'utilisation d'eau et vapeur à des températures voisines de 140-150°C pour la production d'électricité à travers un circuit secondaire contenant un fluide organique. Les centrales géothermiques de ce type peuvent avoir des capacités de production de quelques MWe à quelques dizaines de MWe. La réalisation de ce type de centrales est strictement possible sur certains sites du Nord-Est algérien (Fekraoui et Kedaïd, 2005).

CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'étudier certaines particularités du sous sol du site de Soultz-sous-Forêts, et ce à partir d'une microsismicité induite par stimulation hydraulique.

L'étude a révélé que la surveillance de l'activité microsismique a pu mettre en évidence une dépendance entre la sismicité et les injections massives d'eau réalisées dans les forages.

L'analyse spatio-temporelle de la sismicité en terme de propriétés du réservoir géothermique nous amène à déduire que la perméabilité est élevée au voisinage du puits d'injection. Ceci est dû à la pression hydraulique exercée sur le réseau de fracturation du socle cristallin.

Il est important de noter que l'analyse de la sismicité observée a fourni des données requises sur la direction et la géométrie de la fracturation du socle cristallin.

De façon générale, l'examen des solutions focales pour les 108 séismes induits, montre nettement la prédominance des ruptures en failles normales avec une composante décrochante. Ceci corrobore absolument les travaux réalisés par d'autres chercheurs (Cuenot et al., 2005).

L'Algérie dispose d'un potentiel géothermique important. Bien qu'il existe des sources

naturelles d'eau chaude dans plusieurs endroits, leur usage est limité à des soins thérapeutiques.

L'utilisation de la stimulation hydraulique dans certains sites à moyenne énergie permettra de localiser parfaitement les nappes phréatiques, de caractériser le réseau de fracturation et d'améliorer la productivité d'éventuels réservoirs géothermiques. Par conséquent, cette technique constituera sans doute un instrument utile dans la recherche future des réservoirs géothermiques.

Remerciement : Nous remercions les reviewers Dr. Nicolas Cuenot et M.A. Aitouche pour leurs conseils et leurs remarques. Nous tenons à remercier également Mr M.K. Merahi pour son aide et sa contribution pour l'élaboration de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- BARIA, R., MICHELET, S., BAUMGAERTNER, J., DYER, B., NICHOLLS, J., HETTKAMP, T., TFZA, D., SOMA, D., ASANUMA, H., GARNISH, J., MEGEL, T., KOHL, T., KUEPERKUCH, L. 2005.** A 5000m deep reservoir development at the European HDR site at Soultz Proceedings, Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford Univ., Stanford, California, January 31-February 2, 2005.
- BEAUJARD, C. AND BRUEL, D. 2005.** Recent results on the impact of fluid density on the pressure distribution and simulated area in the reservoir using a finite volume numerical code, *EHDRA scientific conference*, 17-18 mars 2005.
- BELHAI, D. 1996.** Evolution tectonique de la zone Ouest-algéroise (Tenes-Chenoua) approche stratigraphique et structurale. *Thèse de Doctorat, Institut des sciences de la terre, Université des sciences et de la technologie Houari Boumedienne (USTHB)*.
- CHARLÉTY, J., CUENOT, N.N DORBATH, C. AND DORBATH, L. 2005.** Four dimensional velocity structure of the Soultz sous- forets geothermal reservoir during 2000 and 2003 stimulations PROCEEDINGS, Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 31-February 2, SGP-TR-176

ÉLÉMENTS D'ANALYSE DE MICROSISMICITÉ POUR DES EXPÉRIENCES HYDRAULIQUES. CAS DE L'EXPÉRIENCE DE STIMULATION HYDRAULIQUE DU 13 AU 23 SEPTEMBRE 2004 (SOULTZ-SOUS-FORÊTS, BAS-RHIN, FRANCE)- EVENTUELLE APPLICATION EN ALGÉRIE

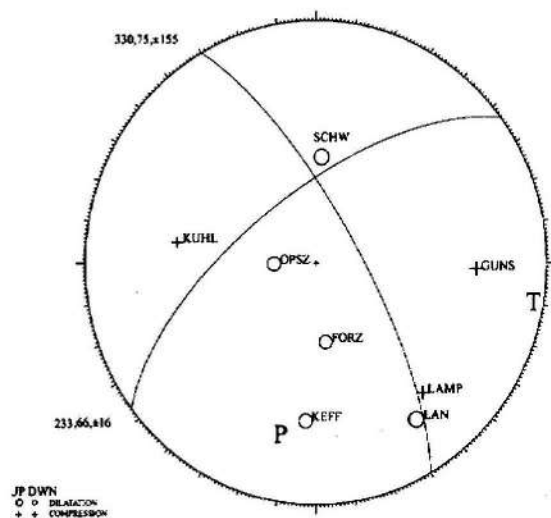
- CUENOT, N., CHARLÉTY, J., DORBATH, L. AND HAESSLER, H. 2005.** Faulting mechanism and stress tensor at the European HDR site of Soultz sous-forêts, *EHDRA scientific conference, 17-18 mars. 2005.*
- CUENOT, N., DORBATH, C. AND DORBATH, L. 2005.** Analysis of the microseismicity induced by fluid injections at the Hot Dry Rock site of Soultz-sous-Forêts (Alsace, France): implications for the characterization of the geothermal reservoir properties, *Pure and Applied Geophysics*, accepted.
- DORBATH, L., BLUMENTRITT, H., CHARLÉTY, J., CUENOT, N., DORBATH, C., FROGNEUX, M., HAESSLER, H., HOLL, J.M., RIVERA, L. AND SAHR, J. 2005.** EOST contribution to seismological studies at Soultz Sous-Forêts for the period 2001-2004, *EHDRA scientific conference, 17-18 mars 2005.*
- FEKRAOUI, A. AND ABOURICHE, M. 1995.** Algeria country update report. *World Geothermal Congress. Florence, Italy*, 31-35.
- FEKRAOUI, A. AND KEDAID, F.Z. 2005.** Geothermal resources and uses in Algeria: A country update report, *Proceeding World Geothermal Congress, Antalya, Turquie*, 24-29 Avril 2005.
- HELM, J.A. 1996.** The natural seismic hazard and induced seismicity of the European Hot Dry Rock geothermal energy project at Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin, France), *Thèse de Doctorat, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Université Louis Pasteur (Strasbourg I)*, 197 p.
- KEDAID, F.Z., REZIG, M., ABOURICHE, M. ET FEKRAOUI, A. 1988.** Carte géothermique préliminaire du nord de l'Algérie au 1/1000.000. *Rapport interne du CDER*
- KLEIN, F. W. 1978.** Hypocenter location program HYPOINVERSE Part I: User's guide to versions 1, 2, 3 and 4, U.S. Geol. Surv. Open-File Report 78-694.
- REASENBERG, P. ET OPPENHEIMER, D.H. 1985.** FPFIT, FPLOT, and FPPAGE, FORTRAN computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions: *U.S. Geological Survey Open-File Report 85-739, 109p. SGP-TR-176, 1985.*

4 913 16:34 14.24
48a55.28 7c52.09
DEPTH - 4.72 KM
MAG = 0

RMS = 0.02 S
DMIN = KM
AZM GAP =
FM = 1

ERH = KM
ERZ = KM
MISFIT = 0.00 (+0.09)
STDR = 0.55

STRIKE UNCERTAINTY = 0
DIP UNCERTAINTY = 4
RAKE UNCERTAINTY = 8
% MACHINE PICKS = 0

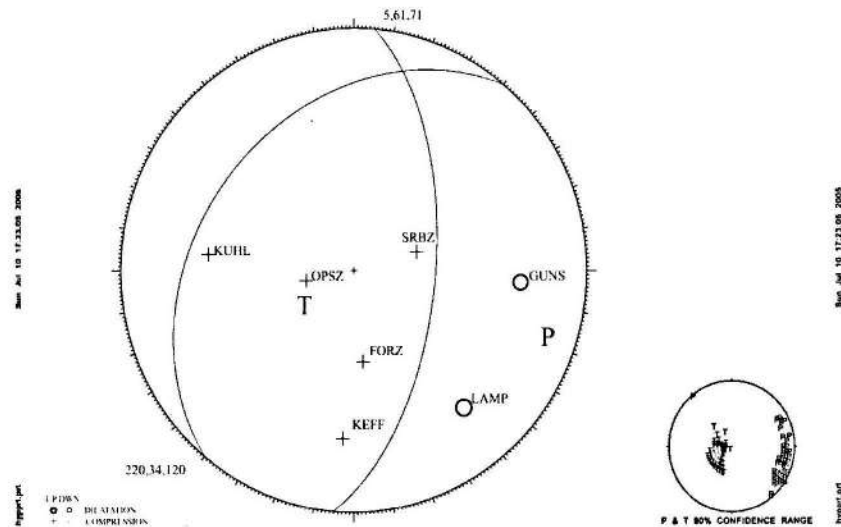


4 917 2:16 11.32
48a55.17 7c52.09
DEPTH - 4.42 KM
MAG = 0

RMS = 0.02 S
DMIN = KL
AZM GAP =
FM = 7

ERH = KM
ERZ = KM
MISFIT = 0.00 (+0.09)
STDR = 0.71

STRIKE UNCERTAINTY = 13
DIP UNCERTAINTY = 10
RAKE UNCERTAINTY = 18
% MACHINE PICKS = 0

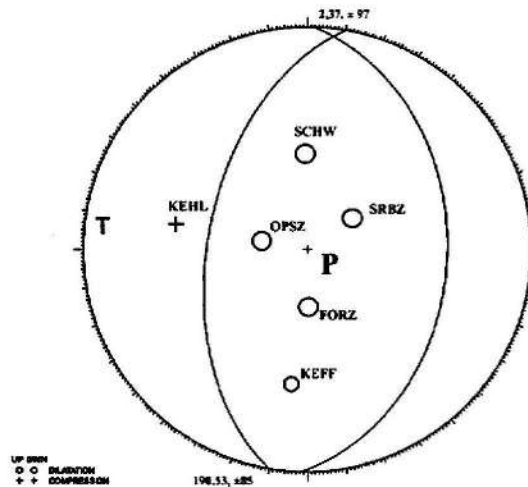


4 917 4:14 8.47
48a55.42 7c51.91
DEPTH - 5.09 KM
MAG = 0

RMS = 0.06 S
DMIN = KM
AZM GAP =
FM = 6

ERH = KM
ERZ = KM
MISFIT = 0.00 (+0.09)
STDR = 0.79

STRIKE UNCERTAINTY = 45
DIP UNCERTAINTY = 15
RAKE UNCERTAINTY = 40
% MACHINE PICKS = 0

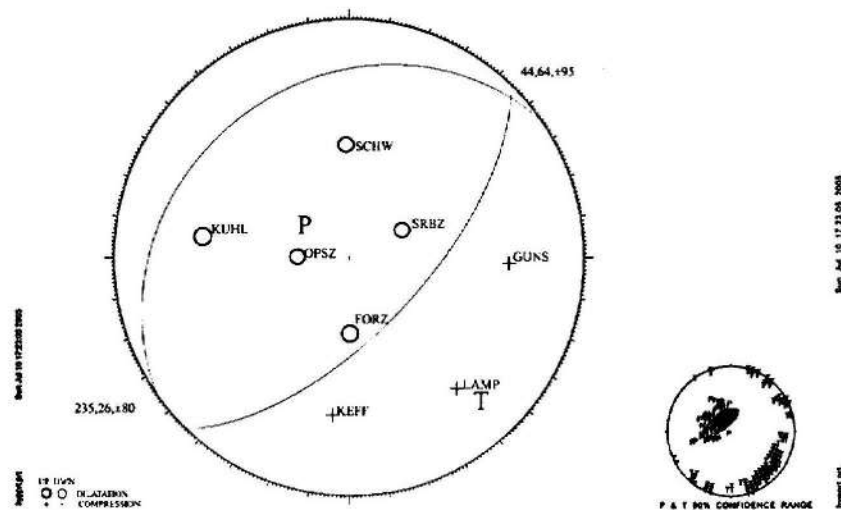


4 917 2:20 50.24
48a55.30 7c51.93
DEPTH - 4.62 KM
MAG = 0

RMS = 0.01 S
DMIN = KM
AZM GAP =
FM = 8

ERH = KM
ERZ = KM
MISFIT = 0.00 (+0.09)
STDR = 0.75

STRIKE UNCERTAINTY = 23
DIP UNCERTAINTY = 8
RAKE UNCERTAINTY = 23
% MACHINE PICKS = 0

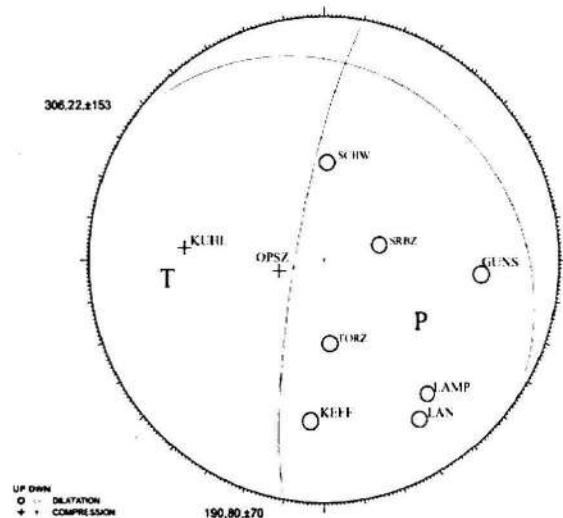


4 917 0:57 22.84
48n55.15 7n52.02
DEPTH = 4.85 KM
MAG = 0

RMS = 0.01 S
DMIN = KM
AZM GAP =
FM = 9

ERH = KM
ERZ = KM
MISFIT = 0.00 (+.08)
STDR = 0.70

STRIKE UNCERTAINTY = 8
DIP UNCERTAINTY = 4
RAKE UNCERTAINTY = 38
% MACHINE PICKS = 0

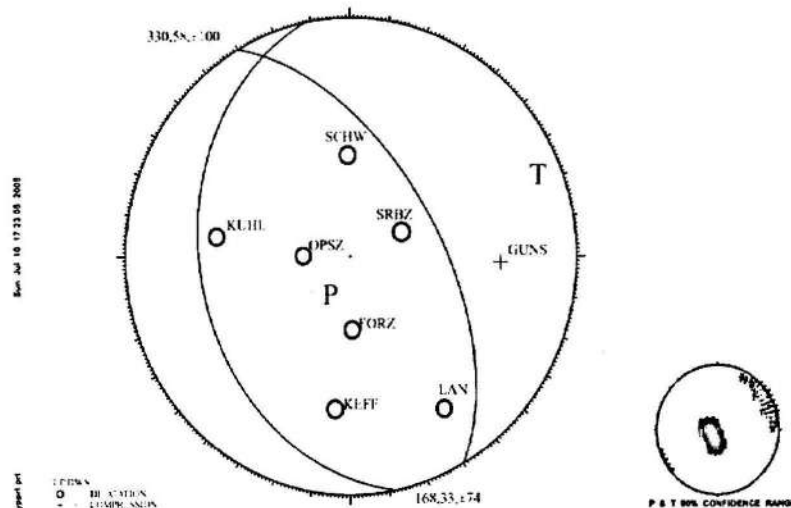


4 917 3:6 3.80
48n55.29 7n51.96
DEPTH = 4.97 KM
MAG = 0

RMS = 0.02 S
DMIN = KM
AZM GAP =
FM = 8

ERH = KM
ERZ = KM
MISFIT = 0.00 (+.09)
STDR = 0.69

STRIKE UNCERTAINTY = 20
DIP UNCERTAINTY = 11
RAKE UNCERTAINTY = 23
% MACHINE PICKS = 0



Solutions focales pour quelques événements produits après l'injection du 13 Septembre 2004

Focal solutions for some events produced after the injection of september 13, 2004