



BRGM

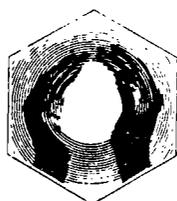


A.F.M.E.

B.R.G.M.
- 2. NOV. 1988
BIBLIOTHÈQUE



**BRGM**



**A.F.M.E.**

**AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE**  
Délégation Régionale d'Ile-de-France

**EXAMEN DES OPÉRATIONS GÉOTHERMIQUES  
D'ILE-DE-FRANCE**

**PARTIE SOUS-SOL**  
**Vaux-le-Pénil (Seine-et-Marne)**

**Gilbert BRETTE**

**88 SGN 635 DIG**

## SOMMAIRE

Introduction .....	p.	1
1 - Situation du doublet .....	p.	5
2 - Réalisation des forages .....	p.	6
3 - Conditions hydrogéologiques .....	p.	7
4 - Description des installations de la boucle géothermale .....	p.	10
5 - Observation sur le fonctionnement des installations de la boucle géothermale .....	p.	11
5.1. - Mise en service .....	p.	11
5.2. - Taux de disponibilité .....	p.	11
5.3. - Principaux incidents de fonctionnement .....	p.	11
6 - Examen de l'évolution des paramètres de la boucle géothermale .....	p.	12
7 - Etat des forages .....	p.	13
8 - Evolution du chimisme de l'eau géothermale .....	p.	14
9 - Problèmes de corrosion - Dépôts .....	p.	16
10 - Réhabilitation et essai d'additifs chimiques .....	p.	17
11 - Energie géothermale produite .....	p.	17
12 - Compte d'exploitation de la boucle géothermale .....	p.	19
Conclusion .....	p.	27

**LISTE DES FIGURES**

1 - Carte de localisation .....	p.	6
2 - Coupe technique du forage Vaux-le-Penil 1 .....	p.	8
3 - Coupe technique du forage Vaux-le-Penil 2 .....	p.	9
4 - Schéma de principe de la boucle géothermale .....	p.	15

**LISTE DES TABLEAUX**

1 - Caractéristiques hydrogéologiques .....	p.	12
2 - Répartition des niveaux producteurs .....	p.	13
3 - Historique des débits .....	p.	18
4 - Fourniture annuelle d'énergie géothermale .....	p.	24

**ANNEXES**

- 1) **Analyses de l'eau géothermale - Géotherma - 17 02 1983. p. 28**
- 2) **Analyses de l'eau géothermale - IMRG. .... p. 33**
- 3) **Analyses de l'eau géothermale - Mme Lantelme - 12 01 1987. p. 34**

## INTRODUCTION

Le présent document s'inscrit dans le cadre de l'audit sur les situations techniques et économiques des opérations géothermiques du Bassin parisien.

Il analyse le fonctionnement actuel de la boucle géothermale et après avoir fait certaines hypothèses de fonctionnement futur, définit certains coûts à intégrer dans le compte d'exploitation prévisionnel de l'opération.

L'énergie géothermale est ici exploitée par un seul doublet, appartenant à la SAEM. Géopenil (Hôtel de ville ; 77530 Vaux-Le-Penil). L'exploitant de chauffage est la Compagnie Générale de chauffe.

## 1 - SITUATION DU DOUBLET

Le doublet de forages est situé sur la Commune de Vaux-le-Penil (Seine-et-Marne), à la périphérie Est de la zone urbanisée.

Il dessert environ 1800 équivalents-logements. (chauffage + eau chaude sanitaire).

Des raccordements supplémentaires avaient été envisagés à l'origine. (Etablissements à caractère industriel ; établissements hospitaliers).

Le doublet est distant d'environ 1.5 km de celui de Melun-l'Almont, exploité par le même chauffagiste (Compagnie Générale de chauffe-STAHL), et d'environ 5 km de celui de Le Mée-sur-Seine.

(cf. figure 1).

Ce groupe de forages est très éloigné des autres opérations géothermiques d'Ile de France, (hormis Fontainebleau, à une quinzaine de km).

# CARTE DE LOCALISATION



ECHELLE 1/50 000

Fig 1 - Plan de situation



## 2 - REALISATION DES FORAGES

Les forages ont été réalisés par le G.I.E.F.F., sous la Maîtrise d'oeuvre de Géotherma.

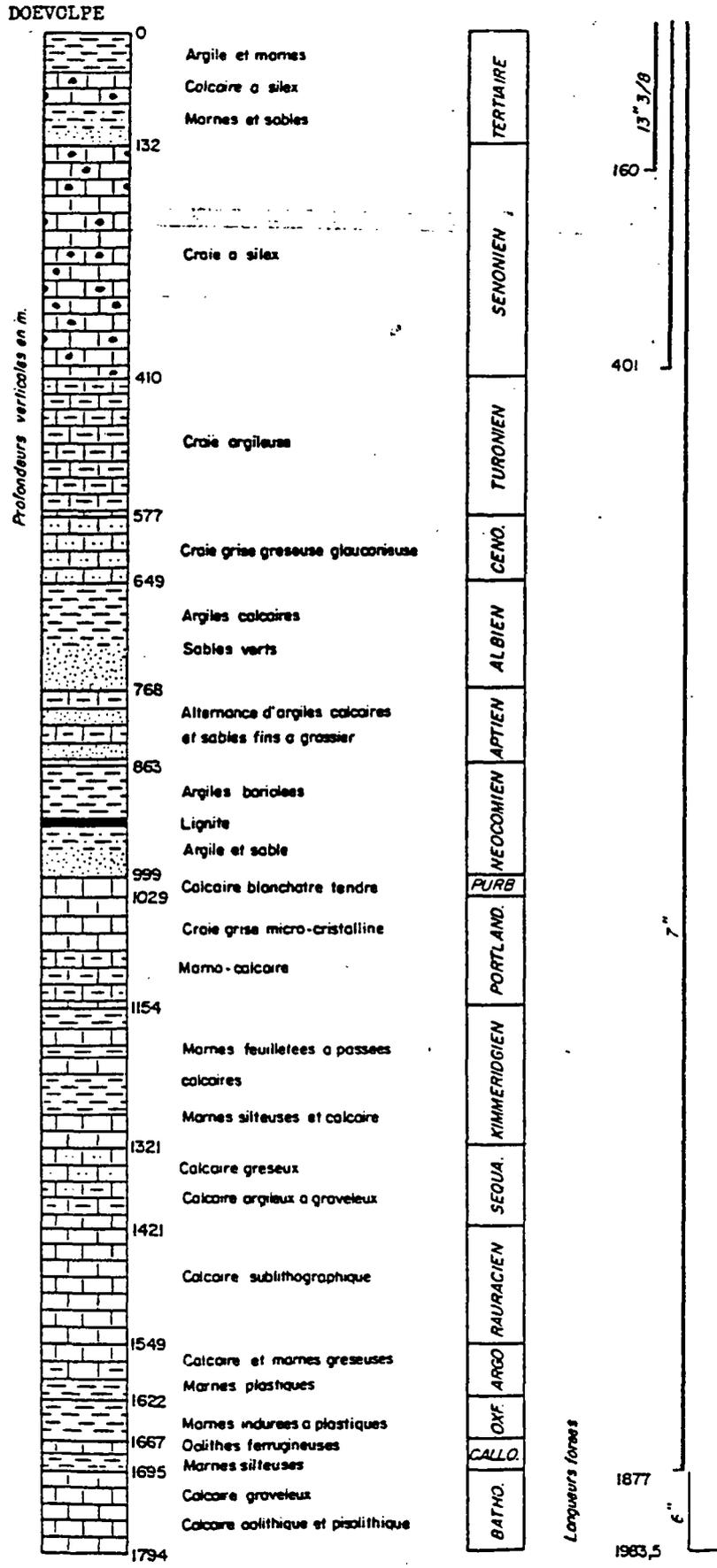
Les travaux de forage se sont achevés en Février 1983. Chacun des 2 puits a été réalisé en déviation à partir d'une même plate-forme.

Les commentaires sur la réalisation des forages sont les suivants : (cf figure 2 et 3).

- . les 2 puits ont été forés en "petit" diamètre (6") dans l'aquifère, et tubés en 7".
- . la conception des 2 forages ne comprend pas de double-tubage en face des aquifères d'eau douce de l'Albien-Néocomien. Il s'agit ici d'un choix économique et non d'une solution imposée par un programme de foration en gros diamètre.
- . les déviations sont ici modérées (maximum de de 36° sur chacun des 2 puits).

nota : la déviation influe sur la longueur du tubage (donc la surface de contact métal-fluide) et sur les difficultés d'une éventuelle réhabilitation mécanique.

- . tous les casings en contact avec le fluide géothermal sont en acier ordinaire K55 (avec traitement Vallourec VE K 2).
- . si les aquifères superficiels sont bien protégés sur le forage d'injection (triple tubage cimenté), il n'en va pas de même au forage de production : un tubage 18<sup>5/8</sup> était prévu, jusqu'à 145m. Après 3 tentatives infructueuses de descente de la colonne, coincements, poses à faible profondeur, reforages, le 18<sup>5/8</sup> n'a finalement pas été mis en place.



# VAUX LE PENIL 1

## FICHE RECAPITULATIVE

### COORDONNEES

X = 626 250  
Y = 1092 470  
Z = + 80 m. NGF

### APPAREIL

GB 800

### COMMUNE

VAUX LE PENIL (SetM)

### TRAVAUX

du 10-12-82 au 17-01-83

### OBJECTIF

Exploitation du Dogger

### RESULTATS

Pression en tete = 7,5 kg  
Artesien = 191 m<sup>3</sup>/h  
Temperature = 70 °C

### DIAGRAPHIES

de 400 à 1877 m

Gamma Ray

Caliper

BGL

CBL-VD-Magnelog

de 1877 à 1983,5 m

Gamma Ray

Sonic

Flowmetre

Thermometrie



Fig 2 - Puits d'injection Vaux le Pénil

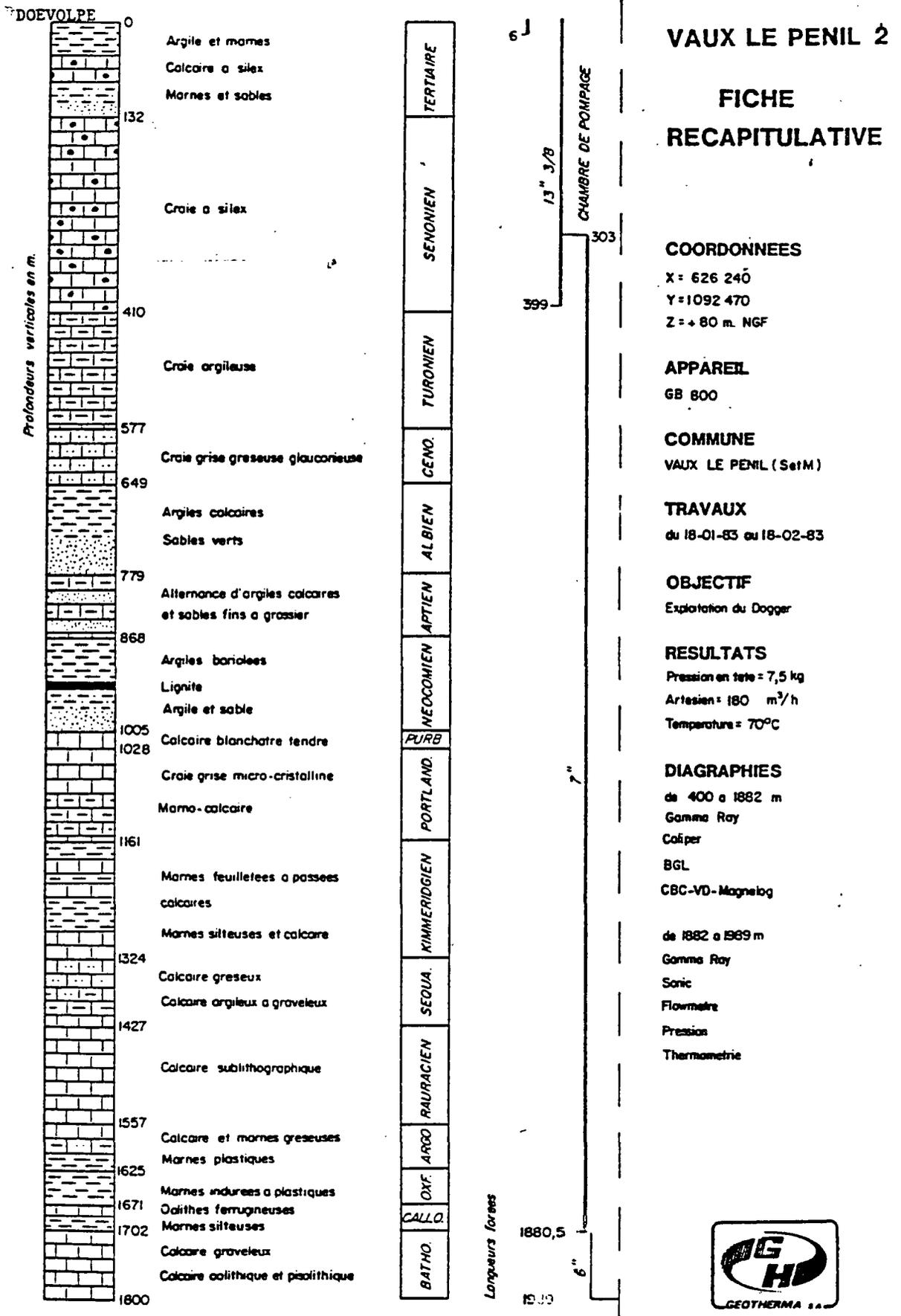


Fig 3 - Puits de production Vaux le Pénil

La chambre de pompage 13<sup>3/8</sup> est donc directement en contact avec les aquifères superficiels. Le contrôle de la qualité de la cimentation du 13<sup>3/8</sup> ne semble pas avoir été fait. D'après le D.O.E., ce tube est épais (68 lb/ft soit 12.2 mm d'épaisseur).

- . le tubage 7" est d'épaisseur moyenne (26 lb/ft soit 9.19 mm) sur les 2 puits.

Sur le forage d'injection, la cimentation a été perturbée par la non-ouverture de la D-V (Déflexion Valve). Le casing a du alors être perforé (20 trous de 1/4") pour permettre la cimentation de l'étage supérieur. Ces perforations (entres 1412 et 1414m, cotes déviées) pourraient constituer des points privilégiés d'amorce de corrosion (l'acier a subi des déformations mécaniques et thermiques ; d'autre part, le fluide géothermal est susceptible d'attaquer le ciment à travers les perforations et un milieu confirmé peut se développer à l'extérieur du tubage, avec corrosion).

### 3 - CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES

Les caractéristiques hydrogéologiques sont résumées au tableau 1.

Vaux se situe dans la partie occidentale du monoclinal de la Brie.

On note ici :

- . un léger pendage vers le Nord-Est : il existe un décalage de 7m entre les côtes NGF du toit du Dogger, cette formation étant légèrement plus profonde au puits producteur.
- . une bonne transmissivité, d'ailleurs supérieure aux prévisions. De même pour le débit artésien.
- . par contre le gradient géothermique est légèrement inférieur aux prévisions. La température de fond reste cependant élevée (72°C).

. des niveaux producteurs peu nombreux (6 au forage de production ; 7 au forage d'injection), épais de 1 à 3m en général, sans forte hétérogénéité de répartition des débits. On note que les niveaux productifs sur les 2 puits ne correspondent pas exactement (cf tableau 2).

En résumé, les conditions hydrogéologiques (débit, température) sont favorables.

Tableau 1

**CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES**

Forage	Profondeur toit Dogger		épaisseur productive en m		transmissivité en D.m		salinité g/l		température de fond, fin foration		débit artésien, fin foration m3/h		pression artésienne bars	
	APS*	réalité	APS	réalité	APS	réalité	APS	réalité	APS	réalité	APS	réalité	APS	réalité
Production	1840 +-20	1882 (dévié) 1702 vertical	20	19m vertical	30 +-2	55	13	12.5	74	71.9	145	180	7	7.5
Injection	1840 +-20	1873 (dévié) 1695m vertical	20	21.8 vertical	30 +-2	55	13	12.9	74	71.9	145	191	7	7.5

\* APS : cf rapport au Comité Géothermie du 3 Mai 1982.

**SWP1 OPERATION : VAUX-LE-PENIL**

SURFACE : X = 626250.0 Y = 92470.0 Z NSF = 00.0 TOIT D06 : X = 625675.0 Y = 92190.0 Z NSF = -1615.0  
 R. SUP. : X = 625675.0 Y = 92190.0 Z NSF = -1615.0 TOIT D0L : X = 625667.2 Y = 92186.2 Z NSF = -1633.5  
 R. INF. : X = 625633.2 Y = 92169.6 Z NSF = -1714.0 TOIT ALT : X = 625644.3 Y = 92175.0 Z NSF = -1687.0  
 TRANSMISSIVITE INTRINSEQUE D<sub>0</sub> = 55.0 REPERE ZD = 1873.0 ZV = 1695.0 ALPHA = 25.2

PR. DEVIEES		PR. VERTICALES		COTES NSF		ENSEMBLE NIVEAUX				COORDONNEES BARYCENTRIQUES						
N	TOIT	MUR	HD	TOIT	MUR	TOIT	MUR	%	PHI	H	KH	K FAC.	X BARY.	Y BARY.	ZG NSF	
1	1983.0	1910.5	7.5	1722.1	1728.9	-1642.1	-1648.9	27.5	0.0	6.8	15.1	2.23	D0L	625662.1	92183.7	-1645.5
2	1924.0	1928.0	4.0	1741.1	1744.8	-1661.1	-1664.8	24.0	0.0	3.6	13.2	3.65	D0L	625654.8	92180.1	-1663.0
3	1935.0	1938.0	3.0	1751.1	1753.8	-1671.1	-1673.8	18.0	0.0	2.7	9.9	3.65	D0L	625650.8	92178.2	-1672.5
4	1939.0	1942.0	3.0	1754.7	1757.4	-1674.7	-1677.4	12.0	0.0	2.7	6.6	2.43	D0L	625649.2	92177.4	-1676.1
5	1948.0	1949.0	1.0	1762.9	1763.8	-1682.9	-1683.8	6.0	0.0	0.9	3.3	3.65	D0L	625646.1	92175.9	-1683.3
6	1951.0	1953.5	2.5	1765.6	1767.8	-1685.6	-1687.8	12.5	0.0	2.3	6.9	3.04	D0L	625644.7	92175.2	-1686.7
21.0								100.0	0.0	19.0	55.0	2.89	ENS	625653.6	92179.6	-1665.6
								100.0	0.0	19.0	55.0	2.89	D0L	625653.6	92179.6	-1665.6

**SWP2 OPERATION : VAUX-LE-PENIL**

SURFACE : X = 626240.0 Y = 92470.0 Z NSF = 00.0 TOIT D06 : X = 626860.0 Y = 92270.0 Z NSF = -1622.0  
 R. SUP. : X = 626860.0 Y = 92270.0 Z NSF = -1622.0 TOIT D0L : X = 626866.9 Y = 92267.7 Z NSF = -1638.8  
 R. INF. : X = 626900.0 Y = 92256.0 Z NSF = -1720.0 TOIT ALT : X = 626888.1 Y = 92260.7 Z NSF = -1690.7  
 TRANSMISSIVITE INTRINSEQUE D<sub>0</sub> = 55.0 REPERE ZD = 1882.0 ZV = 1702.0 ALPHA = 24.5

PR. DEVIEES		PR. VERTICALES		COTES NSF		ENSEMBLE NIVEAUX				COORDONNEES BARYCENTRIQUES						
N	TOIT	MUR	HD	TOIT	MUR	TOIT	MUR	%	PHI	H	KH	K FAC.	X BARY.	Y BARY.	ZG NSF	
1	1902.0	1905.0	3.0	1720.2	1722.9	-1640.2	-1642.9	10.0	0.0	2.7	5.5	2.01	D0L	626868.0	92267.4	-1641.6
2	1908.0	1911.0	3.0	1725.7	1728.4	-1645.7	-1648.4	15.0	0.0	2.7	8.3	3.02	D0L	626870.2	92266.6	-1647.0
3	1924.0	1926.0	2.0	1740.2	1742.0	-1660.2	-1662.0	19.0	0.0	1.8	10.4	5.74	D0L	626876.0	92264.7	-1661.1
4	1927.0	1928.0	1.0	1742.9	1743.9	-1662.9	-1663.9	6.0	0.0	0.9	3.3	3.63	D0L	626876.9	92264.4	-1663.4
5	1929.0	1931.0	2.0	1744.8	1746.6	-1664.8	-1666.6	3.0	0.0	1.8	1.6	0.91	D0L	626877.8	92264.1	-1665.7
6	1935.0	1942.0	7.0	1750.2	1756.6	-1670.2	-1676.6	27.0	0.0	6.4	14.9	2.33	D0L	626881.0	92263.1	-1673.4
7	1948.0	1954.0	6.0	1762.1	1767.5	-1682.1	-1687.5	20.0	0.0	5.5	11.0	2.01	D0L	626885.6	92261.5	-1684.8
24.0								100.0	0.0	21.8	55.0	2.52	ENS	626877.7	92264.2	-1665.4
								100.0	0.0	21.8	55.0	2.52	D0L	626877.7	92264.2	-1665.4

Tableau 2 - Répartition des niveaux producteurs document IMRG

#### 4 - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

La boucle géothermale comprend (cf figure 4) :

- . une pompe de gavage Salmson, type NO 100.400 F3., corps fonte, avec moteur Leroy Sommer 55. kW. Cette pompe est destinée à relever la pression a l'entrée du circuit.

Le puits producteur fonctionne en artésien : il n'y a pas de pompe immergée.

Ce fonctionnement existe depuis la mise en service de la station géothermale.

- . une pompe de réinjection Salmson type NI 125 80 315 M3, corps acier., avec moteur Asea 75kW, et variateur de fréquence Asea.
- . un réseau géothermal en acier noir d'épaisseur 7.1 mm entre les puits et le local technique et en inox 316 L dans le local.
- . un échangeur Alfa-Laval, à plaques titane.
- . un filtre à tamis en amont de l'échangeur.

Il n'y a pas de filtre avant le réinjection.

Le site de la station géothermale, en bordure de champs, ne pose pas de problèmes majeurs d'environnement en cas de travaux de réhabilitation. Le local technique n'est pas semi-enterré, comme sur certaines installations. Il comprend actuellement un cloisonnement entra la partie "hydraulique" et la partie abritant l'armoire électrique, variateur et appareillages de régulation et de télésuivi.

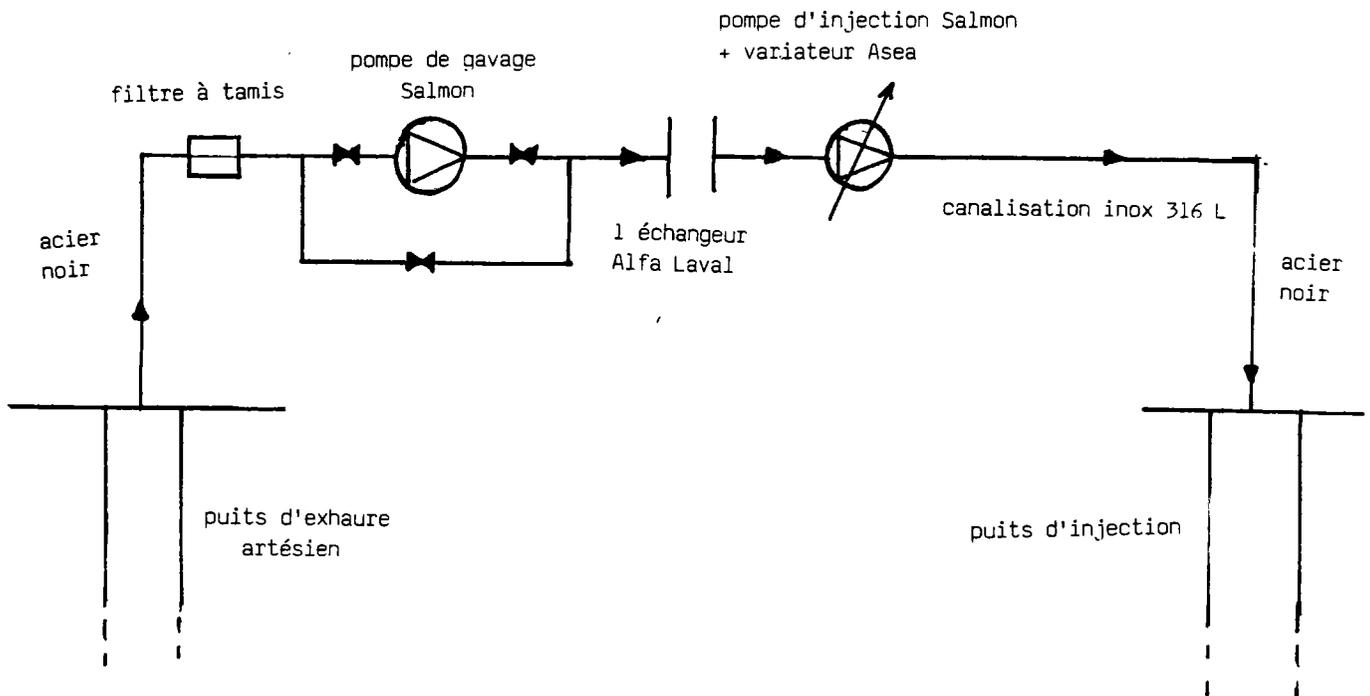


Fig 4 - Schéma de principe de la Boucle géothermale à Vaux le Pénil

## 5 - OBSERVATIONS SUR LE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GÉOTHERMALE

Le fonctionnement de la boucle géothermale de Vaux-le-Penil se caractérise par un fonctionnement déclaré comme satisfaisant sur le plan technique, mais se caractérise aussi par l'absence d'informations quantitatives de suivi.

### 5.1. - Mise en service

La mise en service de la boucle géothermale a eu lieu en Janvier 1984, soit près d'un an après la fin de réalisation des travaux de forage, les puits restant sous saumûre pendant cette période.

### 5.2. - Taux de disponibilité

Le temps d'arrêt imputables à la boucle géothermale y compris les puits ne nous ont pas été communiqués.

Il semblerait que le taux de disponibilité soit élevé, de l'ordre de 95%, ou plus.

### 5.3. - Principaux incidents de fonctionnement

Très peu d'incidents nous ont été communiqués.

Il semblerait :

- . ne pas y avoir eu de percements de conduites de surface. Des fuites ont cependant été signalées sur des piquages.
- . ne pas y avoir eu d'encrassement de l'échangeur. Celui-ci conserverait une perte de charge constante.
- . y avoir eu une corrosion des pompes.
- . y avoir eu des incidents (mineurs) sur le variateur et l'électronique de régulation, qui seraient dû à l'atmosphère particulière du local technique (humidité ; H<sub>2</sub>S).

Un cloisonnement du local a été réalisé par la suite, afin d'isoler les appareillages électriques-électroniques, de la zone "hydrauliques".

## 6 - EXAMEN DE L'EVOLUTION DES PARAMETRES DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

Nous disposons de peu de détails sur les paramètres de fonctionnement de la boucle géothermale (débit, pressions de production et d'injection, température).

Les valeurs de débit communiquées (cf tableau 3) paraissent lissées et très constantes.

Les pressions sont déclarées comme stables.

De la mise en route (01 1984) jusqu'à la fin 1985 le doublet aurait fonctionné au débit constant de 70m<sup>3</sup>/h, sans variation de marche entre l'été et l'hiver.

VAUX LE PENIL

HISTORIQUE DES DEBITS

Mise en service le 17/01/84 pompe de gavage uniquement.  
Pression 5,7 aspiration - 11,5 refoulement - débit 70 m<sup>3</sup>/h

du 17/01 au 22/01/84	70 m <sup>3</sup> /h
du 23/01 au 29/01	70 m <sup>3</sup> /h
du 30/01 au 05/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 06/02 au 12/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 13/02 au 19/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 20/02 au 26/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 27/02 au 04/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 05/03 au 11/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 12/03 au 18/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 19/03 au 25/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 26/03 au 01/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 02/04 au 08/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 09/04 au 15/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 16/04 au 22/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 23/04 au 29/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 30/04 au 06/05	70 m <sup>3</sup> /h
du 07/05 au 13/05	70 m <sup>3</sup> /h
du 14/05 au 20/05	70 m <sup>3</sup> /h
du 21/05 au 27/05	70 m <sup>3</sup> /h

Le 22 Mai essai pompes de réinjection ; fonctionnement quelques heures à 140 m<sup>3</sup>/h en agissant sur les vannes pour réduire le débit du fait de l'artésianisme insuffisant pour faire fonctionner la pompe de réinjection au mexi.

du 28/05 au 03/06/84	70 m <sup>3</sup> /h
du 04/06 au 10/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 11/06 au 17/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 18/06 au 24/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 25/06 au 01/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 02/07 au 08/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 09/07 au 15/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 16/07 au 22/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 23/07 au 29/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 30/07 au 05/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 06/08 au 12/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 13/08 au 19/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 20/08 au 26/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 27/08 au 02/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 03/09 au 09/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 10/09 au 16/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 17/09 au 23/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 24/09 au 30/09	70 m <sup>3</sup> /h

ju 01/10 au 07/10	70 m <sup>3</sup> /h
du 08/10 au 14/10	70 m <sup>3</sup> /h
du 15/10 au 21/10	70 m <sup>3</sup> /h
du 22/10 au 28/10	70 m <sup>3</sup> /h
du 29/10 au 04/11	70 m <sup>3</sup> /h
du 05/11 au 11/11	70 m <sup>3</sup> /h
du 12/11 au 18/11	70 m <sup>3</sup> /h
du 19/11 au 25/11	70 m <sup>3</sup> /h
du 26/11 au 02/12	70 m <sup>3</sup> /h
du 03/12 au 09/12	70 m <sup>3</sup> /h

Démarrage réinjection 140 m<sup>3</sup>/h durant 24 h le 03/12/84

du 10/12 au 16/12	70 m <sup>3</sup> /h
du 17/12 au 23/12	70 m <sup>3</sup> /h
du 24/12 au 30/12	70 m <sup>3</sup> /h
du 31/12 au 06/01/85	70 m <sup>3</sup> /h
du 07/01 au 13/01	70 m <sup>3</sup> /h
du 14/01 au 20/01	70 m <sup>3</sup> /h
du 21/01 au 27/01	70 m <sup>3</sup> /h
du 28/01 au 03/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 04/02 au 10/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 11/02 au 17/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 18/02 au 24/02	70 m <sup>3</sup> /h
du 25/02 au 03/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 04/03 au 10/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 11/03 au 17/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 18/03 au 24/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 25/03 au 31/03	70 m <sup>3</sup> /h
du 01/04 au 07/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 08/04 au 14/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 15/04 au 21/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 22/04 au 28/04	70 m <sup>3</sup> /h
du 29/04 au 05/05	70 m <sup>3</sup> /h
du 06/05 au 12/05	70 m <sup>3</sup> /h
du 13/05 au 19/05	70 m <sup>3</sup> /h
du 20/05 au 26/05	70 m <sup>3</sup> /h
du 27/05 au 02/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 03/06 au 09/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 10/06 au 16/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 17/06 au 23/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 24/06 au 30/06	70 m <sup>3</sup> /h
du 01/07 au 07/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 08/07 au 14/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 15/07 au 21/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 22/07 au 28/07	70 m <sup>3</sup> /h
du 29/07 au 04/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 05/08 au 11/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 12/08 au 18/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 19/08 au 25/08	70 m <sup>3</sup> /h
du 26/08 au 01/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 02/09 au 08/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 09/09 au 15/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 16/09 au 22/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 23/09 au 29/09	70 m <sup>3</sup> /h
du 30/09 au 06/10	70 m <sup>3</sup> /h
du 07/10 au 13/10	70 m <sup>3</sup> /h

du 14/10 au 20/10	70 m <sup>3</sup> /h
du 21/10 au 27/10	70 m <sup>3</sup> /h
du 28/10 au 03/11	70 m <sup>3</sup> /h
du 04/11 au 10/11	70 m <sup>3</sup> /h
du 11/11 au 17/11	70 m <sup>3</sup> /h
du 18/11 au 24/11	70 m <sup>3</sup> /h

Le 19/11 mise en service des nouvelles pompes installées - Débit : 140 m<sup>3</sup>/h.

du 25/11 au 01/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 02/12 au 08/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 09/12 au 15/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 16/12 au 22/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 23/12 au 29/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 30/12 au 05/01/86	140 m <sup>3</sup> /h
du 06/01 au 12/01	140 m <sup>3</sup> /h
du 13/01 au 19/01	140 m <sup>3</sup> /h
du 20/01 au 26/01	140 m <sup>3</sup> /h
du 27/01 au 02/02	140 m <sup>3</sup> /h
du 03/02 au 09/02	140 m <sup>3</sup> /h
du 10/02 au 16/02	140 m <sup>3</sup> /h
du 17/02 au 23/02	140 m <sup>3</sup> /h
du 24/02 au 02/03	140 m <sup>3</sup> /h
du 03/03 au 09/03	140 m <sup>3</sup> /h
du 10/03 au 16/03	140 m <sup>3</sup> /h
du 17/03 au 23/03	140 m <sup>3</sup> /h
du 24/03 au 30/03	140 m <sup>3</sup> /h
du 31/03 au 06/04	140 m <sup>3</sup> /h
du 07/04 au 13/04	140 m <sup>3</sup> /h
du 14/04 au 20/04	140 m <sup>3</sup> /h
du 21/04 au 27/04	140 m <sup>3</sup> /h
du 28/04 au 04/05	140 m <sup>3</sup> /h
du 05/05 au 11/05	140 m <sup>3</sup> /h
du 12/05 au 18/05	140 m <sup>3</sup> /h
du 19/05 au 25/05	140 m <sup>3</sup> /h
du 26/05 au 01/06	140 m <sup>3</sup> /h
du 02/06 au 08/06	140 m <sup>3</sup> /h
du 09/06 au 15/06	140 m <sup>3</sup> /h

Mise en service des variateurs de fréquence sur la pompe de réinjection ; débit fonction des besoins variations entre 70 m<sup>3</sup>/h et 140 m<sup>3</sup>/h.

La pompe de réinjection fonctionne souvent seule.

du 16/06 au 22/06 pompage variable  
du 23/06 au 29/06 50 < d < 140 m<sup>3</sup>/h sur variateur et régulation

du 30/06 au 06/07  
du 07/07 au 13/07

Arrêt variateur - passage sur pompe de gavage seule - 75 m<sup>3</sup>/h

du 14/07 au 20/07 75 m<sup>3</sup>/h  
du 21/07 au 27/07 75 m<sup>3</sup>/h

ju 28/07 au 03/08	75 m <sup>3</sup> /h
du 04/08 au 10/08	75 m <sup>3</sup> /h
du 11/08 au 17/08	75 m <sup>3</sup> /h
du 18/08 au 24/08	75 m <sup>3</sup> /h
du 25/08 au 31/08	75 m <sup>3</sup> /h
du 01/09 au 07/09	75 m <sup>3</sup> /h
du 08/09 au 14/09	75 m <sup>3</sup> /h
du 15/09 au 21/09	75 m <sup>3</sup> /h
du 22/09 au 28/09	75 m <sup>3</sup> /h
du 29/09 au 05/10	75 m <sup>3</sup> /h

Remise en service variateur - débit variable 50/140 m<sup>3</sup>/h.

du 06/10 au 12/10  
du 13/10 au 19/10  
du 20/10 au 26/10  
du 27/10 au 02/11

Passage sur direct - débit 140 m<sup>3</sup>/h.

du 03/11 au 09/11	140 m <sup>3</sup> /h
du 10/11 au 16/11	140 m <sup>3</sup> /h
du 17/11 au 23/11	140 m <sup>3</sup> /h
du 24/11 au 30/11	140 m <sup>3</sup> /h
du 01/12 au 07/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 08/12 au 14/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 15/12 au 21/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 22/12 au 28/12	140 m <sup>3</sup> /h
du 29/12 au 04/01/87	140 m <sup>3</sup> /h
du 05/01 au 11/01	140 m <sup>3</sup> /h
du 12/01 au 18/01	140 m <sup>3</sup> /h
du 19/01 au 25/01	140 m <sup>3</sup> /h
du 26/01 au 01/02	140 m <sup>3</sup> /h
du 02/02 au 08/02	140 m <sup>3</sup> /h
du 09/02 au 15/02	140 m <sup>3</sup> /h

Pressions n'ont pas varié depuis l'origine - 1,2 bars aspiration - 14 bars réinjection pour débit 140 m<sup>3</sup>/h.

Fin Novembre 1985, de nouvelles pompes (gavage + injection ?) ont été installées, permettant de porter le débit à une valeur constante de  $140 \text{ m}^3/\text{h}$ , jusqu'en Juin 1986, où le variateur de fréquence fut mis en service, permettant d'adapter le débit aux besoins.

En été, le doublet fonctionne au ralenti, en fonction des besoins (eau chaude sanitaire) jusqu'à une valeur proche de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  (c'est-à-dire très près du fonctionnement en thermo-siphon simple).

Le doublet fonctionne donc avec des régimes de marche été-hiver très différents, et il semblerait ne pas y avoir eu d'incidents au passage saison d'été-saison de chauffe, (colmatage de l'échangeur par exemple).

Les pressions n'auraient pas, ou très peu, varié, mais nous ne disposons pas d'historique de mesures. Nous ne disposons pas non plus, des consommations électriques des pompes, qui auraient pu traduire des variations de productivité-injectivité.

On note que :

- . l'injectivité est bonne :  $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{bar}$ .
- . une grande partie de boucle géothermale (jusqu'à l'aspiration de la pompe de réinjection) reste soumise à une pression supérieure à la pression atmosphérique mais nettement inférieure à celle du point de bulle.

Rappelons que le débit retenu dans le protocole SAF définitif est de  $140 \text{ m}^3/\text{h}$ . (température d'exhaure =  $71.1^\circ\text{C}$ , Température d'injection =  $48.8^\circ\text{C}$ ).

## 7 - ETAT DES FORAGES

L'état des casings et du découvert n'est pas connu directement.

Aucune diagraphie de contrôle n'a été réalisée sur les puits depuis la fin des travaux de forage.

L'absence de relevés détaillés des débits, températures, pressions, consommations électriques, qui ne nous ont pas été communiqués, ne permet pas de faire des hypothèses sur le comportement des puits.

## **8 - EVOLUTION DU CHIMISME DE L'EAU GEOTHERMALE**

Il n'existe pas de suivi du chimisme de l'eau géothermale.

Les analyses qui nous ont été communiquées ou que nous avons pu retrouver sont :

- . analyses Géotherma de fin de foration (1983).
- . analyses IMRG de Novembre 1985.
- . analyses de Janvier 1987 faite dans le cadre d'une thèse sur les possibilités d'utilisation thérapeuthiques de l'eau géothermale.

Ces analyses sont données en annexe.

L'analyse de 1983 montre :

- . une eau peu minéralisée (par rapport à beaucoup d'autres opérations géothermiques d'Ile de France), avec un résidu sec de 12.5 g/l.
- . de faibles teneurs en sulfures (2.6 mg/l).
- . de faibles teneurs en fer total (2 mg/l).
- . un point de bulle relativement peu élevé (4.8 bar abs à 71°C ; 4.3 bar abs à 50°C) mais un GLR (gaz/liquid ratio) élevé (18%).

- . la présence d'hydrocarbures.

L'analyse de Janvier 1987, qui semble par ailleurs avoir été affectée d'un dégazage partiel, et qui paraît moins représentative ( par ex pH neutre alors que le pH est ordinairement légèrement acide ), montrerait :

- . une forte augmentation de la teneur en sulfures (10.2 mg/l) (activité de bactéries sulfato-réductrices ?).
- . une forte augmentation de la teneur en sulfates (ainsi que sur l'analyse IMRG, intermédiaire), qui ne semble pas confirmée par une variation des cations (Ca).
- . une nette augmentation de la teneur en silice, mal expliquées.
- . une diminution de la teneur en fer (0.1 mg/l).

La teneur en fin de foration pouvait être perturbée par les travaux de foration proprement dits.

On ignore s'il y a des modifications notables du chimisme de l'eau entre les régimes à faible débit (30 m<sup>3</sup>/h) et fort débit (140 m<sup>3</sup>/h, les 2 dernières analyses semblant avoir été faites au débit de 140 m<sup>3</sup>/h.

On retiendra que la précipitation de sulfures de fer est possible, d'autant que la pression est inférieure au point de bulle.

On retiendra également que les prélèvements et analyses de l'eau géothermale sont délicats et qu'il est difficile de vouloir étudier une évolution du chimisme de l'eau à partir d'analyses faites par 3 laboratoires différents.

## 9 - PROBLEMES DE CORROSION - DEPOTS

Il n'aurait pas été observé de dépôts dans le filtre, ou dans les canalisations géothermales qui ont été démontées. L'échangeur ne semble pas avoir été démonté. L'exploitant n'indique pas d'augmentation de pertes de charge, pouvant traduire la présence de dépôts.

On ignore, par ailleurs, s'il existe des dépôts dans les forages. Les caractéristiques de productivité et injectivité semblent se maintenir, ce qui tendrait à montrer qu'il n'y a pas de dépôts notables sur les casings ni en face des horizons producteurs (mais il peut y en avoir dans la "poubelle à sédiments").

Par contre, une corrosion a été observée sur certaines parties de la boucle géothermale : pompes, piquages, portions de canalisation en acier noir.

L'exploitant envisage un suivi de l'épaisseur des canalisations par sonde à ultra-sons.

On ignore si une corrosion des casings de forage s'est développée (pas de diagraphies ; pratiquement aucun suivi chimique).

Si l'augmentation de la teneur en sulfures est confirmée, elle pourrait traduire une activité bactérienne et avoir pour résultante une augmentation de la corrosion des casings.

Rappelons que les aquifères de l'Albien-Néocomien ne sont protégés ici que par un seul tubage, de même que les aquifères superficiels au puits de production.

Rappelons également, qu'une corrosion des casings a été identifiée (diagraphies ETT) sur le doublet voisin de Melun l'Almont, où l'eau géothermale présente des caractéristiques très voisines.

## 10 - REHABILITATION ET ESSAI D'ADDITIFS CHIMIQUES

Aucune réhabilitation n'a été effectuée et n'est programmée prochainement.

Aucun essai d'additifs (inhibiteurs de corrosion, bactéricides ...) n'a été réalisé.

Il n'existe pas de dispositif d'injection d'additifs.

## 11 - ENERGIE GEOTHERMALE PRODUITE

Les aspects régulation en surface, fonctionnement de la boucle géothermique sont examinés par l'audit "surface".

Nous rappelons ici les quantités annuelles d'énergie géothermale produite (cf tableau 4).

On constate une augmentation progressive de la fourniture géothermale, qui s'explique mal par les seules variations de débit indiquées.

Il faudrait donc admettre soit des fluctuations de débit nettement plus importantes, soit plutôt, une amélioration de l'épuisement thermique de la ressource (meilleure régulation ?) ; autres raccordements ? ; pompes à chaleur ...).

Tableau 4

**VAUX-LE-PENIL  
FOURNITURE ANNUELLE  
D'ENERGIE GEOTHERMALE**

<b>saison de chauffe</b>	<b>énergie géothermale en MW h</b>	<b>observation</b>
<b>01/07/83-30/06/84</b>	<b>3229</b>	<b>mise en service géothermie en 01/1984</b>
<b>84-85</b>	<b>10 576</b>	
<b>85-86</b>	<b>16 558</b>	
<b>86-87</b>	<b>19 883</b>	
<b>87-88</b>	<b>22 000</b>	<b>estimation</b>

## 12 - COMPTE D'EXPLOITATION DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

La société Géopenil est Maître d'ouvrage de la boucle géothermale. Elle revend l'énergie géothermale produite à la CGC, qui facture aux abonnés, l'énergie totale distribuée.

Par ailleurs, Géopenil rémunère la CGC pour la conduite et la maintenance de la boucle géothermale.

Le Maître d'ouvrage a souscrit un contrat SAF pour les forages eux-mêmes.

La CGC, de son côté, n'a pas passé de contrat spécialisé "sous-sol" avec une société de service, pour le suivi des paramètres de fonctionnement de la double et le suivi chimique de l'eau.

Il n'existe pas non plus, à notre connaissance, de contrat de maintenance- gros entretien pour les principaux matériels de la boucle (pompe de gavage, pompe d'injection, variateur).

La CGC assure donc seule la maintenance de la boucle géothermale.

Nous n'avons pas obtenu de composition détaillée des coûts supportés par la CGC pour la conduite et la maintenance de la boucle géothermale.

Comme d'autre part les indications techniques sont elles-mêmes plutôt rares pour la boucle géothermale, il apparaît délicat de fournir des scénarios prévisionnels d'évolution pour le "sous-sol".

Aussi, pour l'évaluation du poste "sous-sol" dans l'audit économique et financier, nous nous bornerons aux hypothèses suivantes, correspondant à un scénario optimiste :

- . maintien du débit géothermal d'exploitation de  $140 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- . disponibilité de 96%.

- . consommation électrique de la station géothermique d'environ 300 kF/an.
- . diagraphies des 2 forages tous les 3 ans environ pour suivi de l'évolution des casings (coût de l'opération proprement dite : environ 2 x 70 kF).
- . pas de nécessité de rechemiser les forages.
- . pas de développement particulier de la corrosion ou de la formation de dépôts, et pas de nécessité d'injecter des additifs ou de réhabiliter les forages.
- . nécessité d'un suivi chimique de l'eau géothermale, pour mieux apprécier les risques pouvant être créés à l'environnement. (environ 50 kF/an).

Nous rappelons que ce scénario optimiste, basé sur le maintien des performances actuelles, avec de faibles surcharges de coûts (essentiellement suivi par diagraphies et chimie) reste hypothétique, l'état des connaissances permettant difficilement de prévoir une évolution des puits.

Bien qu'une corrosion des casings soit probable dans le temps, nous avons préféré ne pas indiquer de scénario pessimiste, incluant des injections d'additifs et/ou des réhabilitations. Nous évoquerons aussi la possibilité de passer d'un fonctionnement en artésien à un fonctionnement avec pompe immergée, cette disposition permettant soit de pallier à une baisse de performance des puits soit d'augmenter les productions d'énergie géothermale si les conditions économiques le permettent (nouveaux raccordements, évolution du coût de l'énergie de référence ...).

## CONCLUSION

L'exploitation du doublet géothermique de Vaux-le-Penil se caractérise par un fonctionnement en artésien dépourvu d'incidents majeurs déclarés. La fourniture d'énergie s'élève à 22 000 MWh pour la dernière saison.

Il semblerait y avoir maintien des performances du doublet.

Cependant, l'exploitation du doublet se caractérise également par la rareté des informations techniques concernant la boucle "sous-sol". Il n'y a eu aucun examen des forages ; il n'y a pratiquement pas de suivi chimique, les paramètres de fonctionnement ne paraissent pas toujours connus avec précision.

Une corrosion semble s'être développée en surface, mais son ampleur reste mal cernée.

Les informations techniques sur le sous-sol paraissant insuffisantes, il a paru difficile de proposer des comptes d'exploitation prévisionnels de la boucle géothermale, en fonction de l'évolution probable des puits.

## Annexe 1 - Forage de production

GEOETHERMA

Prélèvements et analyses  
d'eau de forage à  
VAUX-LE-PENIL

Prélèvements du 17.02.83

JC/SF

	ETUDE n° <u>34/0370/0</u>		78 02
	DOC n° <u>RT.34/8950</u>		
		REV	DATE

**GUIGUES SA**

Société d'études et de conseils

Traitement des eaux

Protection de l'environnement

Installations thermiques et hydrauliques



Groupe TECHNIP

13100 AIX en PROVENCE 1, Allée de la Bastide des Cèpres  
 Tél. (42) 62.52.90 - Telex GUIGALX 400339 F  
 76600 LE HAVRE/BLEVILLE, 47, rue Denis Caronnet  
 Tél. (35) 48 41 92  
 92500 RUEIL-MALMAISON - Tour Albert 1<sup>er</sup> - 65, Avenue de Clichy  
 Tél. (16.1) 732.92.34

Prélèvement effectué le 17 Février 1983 à 9 h.30

1. ANALYSES PHYSICO CHIMIQUES

. Température du prélèvement	:	68 °C
. pH à 20 °C	:	6,5
. Résistivité à 20 °C	:	56 $\Omega$ cm <sup>2</sup> /cm
. salinité totale	:	12,5 g/l par extrait sec sur eau filtré
. Cations :		
* TH total	:	208 °f
* TH calcique	:	142 °f
		568 mg/l Ca
* Sodium	:	860 °f
		3956 mg/l Na
* Potassium	:	14,7 °f
		57,4 mg/l K
* Ammonium	:	3,0 °f
		10,9 mg/l NH <sub>4</sub>
* Fer total	:	2,0 mg/l Fe
* Manganèse total	:	0,01 mg/l Mn
* Aluminium total	:	< 0,02 mg/l Al
Soit cation		1085,7 °f
. Anions :		
* TA	:	0,0 °f
* TAC	:	22,8 °f
		278,2 mg/l HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
* Chlorures	:	978 °f
		6944 mg/l Cl <sup>-</sup>
* Sulfates	:	47,3 °f
		454 mg/l SO <sub>4</sub>
* Nitrates	:	< 0,02 mg/l NO <sub>3</sub>

* Nitrites	:	0,005	mg/l $\text{NO}_2$
* Phosphates	:	0,03	mg/l $\text{PO}_4$
* Fluorures	:	1	°f
		3,8	mg/l $\text{F}^-$
Soit total anions		1049,1	°f
. Autres éléments :			
* silice	:	37,8	mg/l $\text{SiO}_2$
. MEST	:	2,8	mg/l
. Hydrocarbures	:	3,9	mg/l (méthode IR)
. Sulfures	:	2,6	mg/l $\text{S}^{--}$
. Mercaptans	:	4,2	mg/l S
. Oxygène dissous	:	< 0,01	mg/l $\text{O}_2$ (méthode colorimétrique ortotolidine)
. $\text{CO}_2$ dissous	:	125	mg/l $\text{CO}_2$

## 2. ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

- . Bactéries totales revivifiables aérobies : 0/ml
- . Bactéries sulfato réductrices : 0/ml

J. COUSSEAU

L'Ingénieur d'Affaires

## ETUDE DE L'EAU DE VAUX LE PENIL

1) ETUDE A MASSE CONSTANTE

Température	30°C		50°C		71°C	
Pressions absolues	Volumes	Masses Volumiques	Volumes	Masses Volumiques	Volumes	Masses Volumiques
Bar	cm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
201	459,215	1 015,7	462,664	1 008,1	467,845	996,9
151	460,206	1 013,5	463,669	1 005,9	468,904	994,7
101	461,217	1 011,3	464,675	1 003,7	470,025	992,3
51	462,299	1 008,9	465,772	1 001,4	471,255	989,7
31	462,754	1 007,9	466,269	1 000,3	471,836	988,5
11	463,349	1 006,6	467,037	998,7	473,223	985,6
6	463,646	1 006,0	467,566	997,5	473,622	984,8
4	463,941	1 005,3	468,958	-	477,250	-
3	465,821	-	472,526	-	482,576	-
2	470,868	-	480,308	-	495,551	-

Pressions de bulle trouvées :

à 30°C..... 3,8 bar abs.

à 50°C..... 4,3 bar abs.

à 71°C..... 4,8 bar abs.

2) DETENTE ECLAIR A PRESSION ATMOSPHERIQUE

L'eau de gisement à 71°C et 200 bar a été détendue à la pression atmosphérique nous donnant 68 cm<sup>3</sup> de gaz ramené à 15°C et 760 mm de mercure et 382,456 cm<sup>3</sup> d'eau de stockage ramenée à 15°C d'où :

$$G.W.R = \frac{\text{gaz (ramené à 15°C - 760 mm d.Hg)}}{\text{eau de stockage (ramenée à 15°C)}} = \frac{68}{382,456} = 0,18 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

## 3 - ANALYSE DES GAZ DISSOUS

Constituant	Composition Moléculaire
N 2	13,82
C O 2	49,91
C 1	33,72
C 2	1,51
C 3	0,71
n C 4	0,33
Total	100,00

Vaux le Pénil

prélèvement effectué le 28 11 85

mesures sur site:

pH = 6,54 à 66,2 °C

Eh = -133 mV/NHE

H2S = 12 mg/l

---

Na	=	3917 mg/l	CO2	=	10,8 %
K	=	63 mg/l	N2	=	26,9 %
Ca	=	588,5 mg/l	O2	=	1,1 %
Mg	=	139,7 mg/l	H2S	=	0,006 %
Li	=	1,4 mg/l	H2	=	0,004 %
Sr	=	28,25 mg/l	He	=	0,71 %
Fe	=	0,165 mg/l	CH4	=	53 %
Al	=	0,3 mg/l	C2H6	=	3,2 %
Ba	=	0,18 mg/l	C3H8	=	2,1 %
Cl	=	6687 mg/l	C4H10	=	1,2 %
SO4	=	625 mg/l	C5H12	=	0,7 %
HCO3	=	336 mg/l	Ar	=	0,27 %
F	=	5,4 mg/l			
B	=	10,54 mg/l			
SiO2	=	38,5 mg/l			

---

Annexe 2 - Analyse IMRG

B/ Résultats des analyses

aspect : limpide sans dépôt visible

odeur d'hydrocarbures.

turbidité (gouttes de mastic) : VII

Matières en suspension : 17 mg/l

a/ Mesures effectuées sur place

Date du prélèvement : 12/01/87

Température du local : 17°C

Température de l'eau : 70°C

pH (corrigé à 20°C) : 7.00

Potentiel électrique (corrigé) : -103 mV

rH<sub>2</sub> : 17.55

Alcalinité  
en ml d'HCl N/50 versés pour 100ml d'eau  
: TA = 0  
: TAC = 27.8

O<sub>2</sub> dissous : 0.8 mg/l à 70°C

CO<sub>2</sub> dissous : 7.6 mE./l 167.2 mg/l

Sulfures (exprimés en S<sup>2-</sup>) : 10.2 mg/l

Taux de saturation de sulfures : 0.009 %

Mercaptans : 0.8 mg/l

b/ Mesures effectuées au laboratoire

Date du prélèvement : 12/01/87

\* résistivité (Ohm.cm 20°C) : 54.5

\* minéralisation théorique : 15.6 g/l

\* résidu sec : 13.55 g/l

\* dureté totale : 205.8 °f

\* silice Si(OH)<sub>4</sub> : 69.6 mg/l

Annexe 3 - Analyse S Lantelme

*CATIONS	date	12/01/87	
		mg/l	mE./l
calcium Ca <sup>2+</sup>		561 ± 65	28 ± 3
magnesium Mg <sup>2+</sup>		144 ± 5	12 ± 0.4
sodium Na <sup>+</sup>		4000 ± 180	174 ± 8
potassium K <sup>+</sup>		67 ± 3	1.72 ± 0.1
Total			216 ± 11.5

*ANIONS	date	12/01/87	
		mg/l	mE./l
hydrogénocarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		339.2 ± 5	5.6 ± 0.1
carbonates CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		0	0
sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		725 ± 25	15.1 ± 0.5
chlorures Cl <sup>-</sup>		7500 ± 216	211 ± 6
nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		néant	néant
Total			232 ± 6.6

\*BILAN IONIQUE : déficit cationique -16

\* BILAN DE L'AZOTE

date	12/01/87	
	mg/l	mE./l
azote ammoniacal NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	11.6	0.64
azote nitreux NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	néant	néant

Remarque : L'azote ammoniacal accompagne les hydrocarbures, héritage de la sédimentation primitive et de la kérogénèse. Ce n'est pas un indice de pollution.

\*DIVERS

	mg/l
fer total	: 0.1
phosphates HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: 0.065

réalisation  
service  
reprographie  
du BRGM