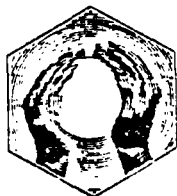




BRGM



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

Rapport final

Tremblay-lès-Gonesse

Gilbert BRETTE

87 SGN 535 SIE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Service d'Information sur l'Énergie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: 38.64.34.34
AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE
27, rue Louis-Vicat - 75015 PARIS

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE	2
2 - REALISATION DES FORAGES	2
3 - IMPORTANCE DES ZONES PRODUCTRICES	2
4 - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	7
5 - OBSERVATIONS SUR LE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	7
5.1. - Mise en service	7
5.2. - Principaux incidents de fonctionnement	7
5.3. - Taux de disponibilité de la boucle géothermale	10
5.4. - Problèmes observés de dépôts et corrosion	10
6 - EVOLUTION DE LA FOURNITURE D'ENERGIE GEOTHERMALE	15
6.1. - Température de l'eau géothermale	15
6.2. - Evolution des débits	17
6.3. - Evolution des hauteurs manométriques	17
6.4. - Evolution de l'énergie géothermique fournie	19
7 - CONSOMMATION D'ENERGIE DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	19
7.1. - Consommations mensuelles	19
7.2. - Puissance absorbée par les pompes	22
8 - COMPTES D'EXPLOITATION PREVISIONNELS	24
8.1. - Hypothèse haute	24
8.2. - Hypothèse basse	25

LISTE DES FIGURES

1 - Plan de situation	3
2 - Coupes techniques des forages	4
3 - Répartition des couches productrices	6
4 - Schéma de principe de la boucle géothermale	8
5 - Taux de disponibilité mensuels de la boucle géothermale	11
6 - Taux de disponibilité annuel de la boucle géothermale	12
7 - Evolution des débits et pressions selon mesures de l'exploitant	14
8 - Relation débit-HMT en fonction du temps	18
9 - Energie géothermique fournie	20
10 - Energie électrique consommée au local tête de puits	21
11 - Puissance absorbée par les pompes	23

LISTE DES TABLEAUX

1 - Caractéristiques hydrogéologiques	1
2 - Historique des principaux incidents	9
3 - Débits artésiens observés pendant les travaux de nettoyage du puits GTRE2	16
4 - Comptes d'exploitation prévisionnels - Hypothèse haute	26
5 - Comptes d'exploitation prévisionnels - Hypothèse basse	27

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 des boucles géothermales et, après avoir fait certaines hypothèses de fonctionnement futur, définit différents coûts à intégrer dans le compte d'exploitation prévisionnel de l'opération.

Un travail similaire est réalisé par un bureau d'études "surface" pour la boucle géothermique, tandis qu'un autre bureau examine la situation économique, financière et juridique de l'ensemble de l'opération.

L'énergie géothermale est exploitée à Tremblay-les-Gonnesse (93) par un doublet appartenant au SEAPFA (Syndicat d'Équipement et d'Aménagement de la Plaine de France et de l'Aulnoy) qui a choisi comme Maître d'Ouvrage délégué la Sodedat 93.

L'exploitant est un groupement SAC-SACUR.

1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le doublet se situe à la limite Sud de la commune, en pleine zone urbanisée (ensembles du Vert Galant) (cf. figure 1).

Le doublet se trouve dans la partie Est d'une zone où sont exploités plusieurs forages géothermiques (cf. cartouche de la figure 1).

2 - REALISATION DES FORAGES

Les travaux de forages se sont achevés en juillet 1983.

Les deux forages sont déviés (cf. figure 2). Il n'y a pas eu de problèmes notables, hormis plusieurs instrumentations classiques, pendant la réalisation des travaux.

On note :

- . que les deux forages ont été réalisés en petit diamètre : 6" dans l'aquifère ; tubages 7".
Les petits diamètres sont plus rapidement et plus fortement sensibles à l'augmentation de pertes de charge créées par d'éventuels dépôts.
Ces pertes de charge varient en effet sensiblement en proportion inverse du diamètre à la puissance 5.
- . tous les tubages en contact avec le fluide géothermal sont en acier ordinaire K55
- . il existe un double tubage et une double cimentation en face de l'aquifère de l'Albien-Néocomien, sur les deux ouvrages
- . la diagraphie de contrôle indique une bonne qualité de cimentation des casings 9"5/8 et 7" de production et 7" d'injection en face de l'Albien.
Il n'y a pas eu de CBL pour le 9"5/8 du forage d'injection ni pour le casing 13"3/8 de la chambre de pompage
- . les déviations sont ici relativement importantes, les valeurs maximales atteignant 50°.
Les déviations influent à la fois sur les conditions de contact eau géothermale - tubages (plus grandes longueurs de tubages, donc surface de contact plus importante et temps de contact plus long) et sur les conditions d'éventuelles réhabilitations mécaniques (nécessité de prendre des précautions supplémentaires pour minimiser les frottements tiges - casings).
- . les "poubelles à sédiments", en fond de forage sont suffisantes (respectivement 76 et 62 m pour la production et l'injection).

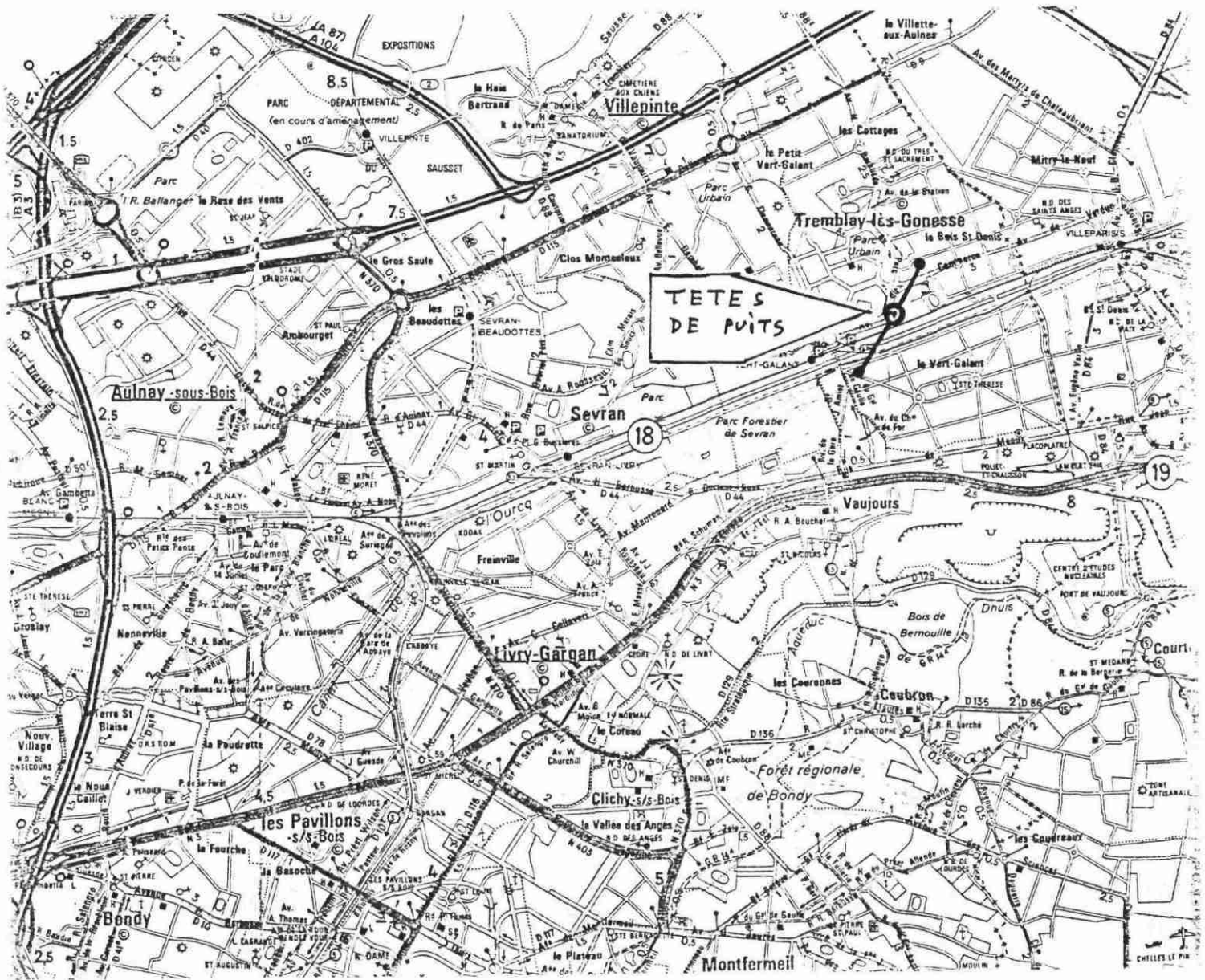
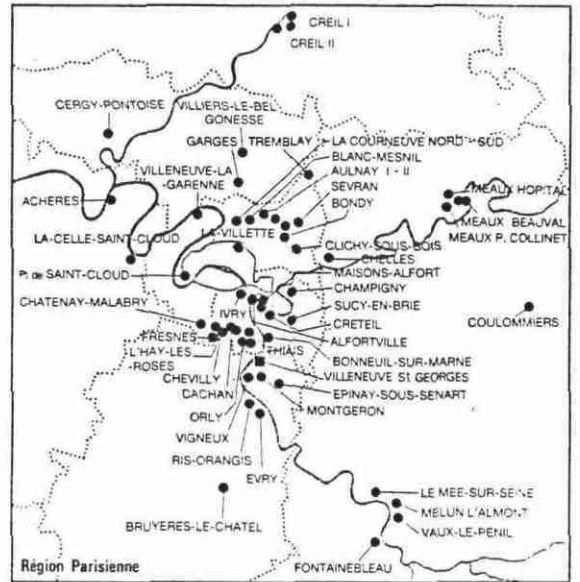
3 - IMPORTANCE DES ZONES PRODUCTRICES

Les caractéristiques hydrogéologiques sont résumées au tableau 1 et en figure 3.

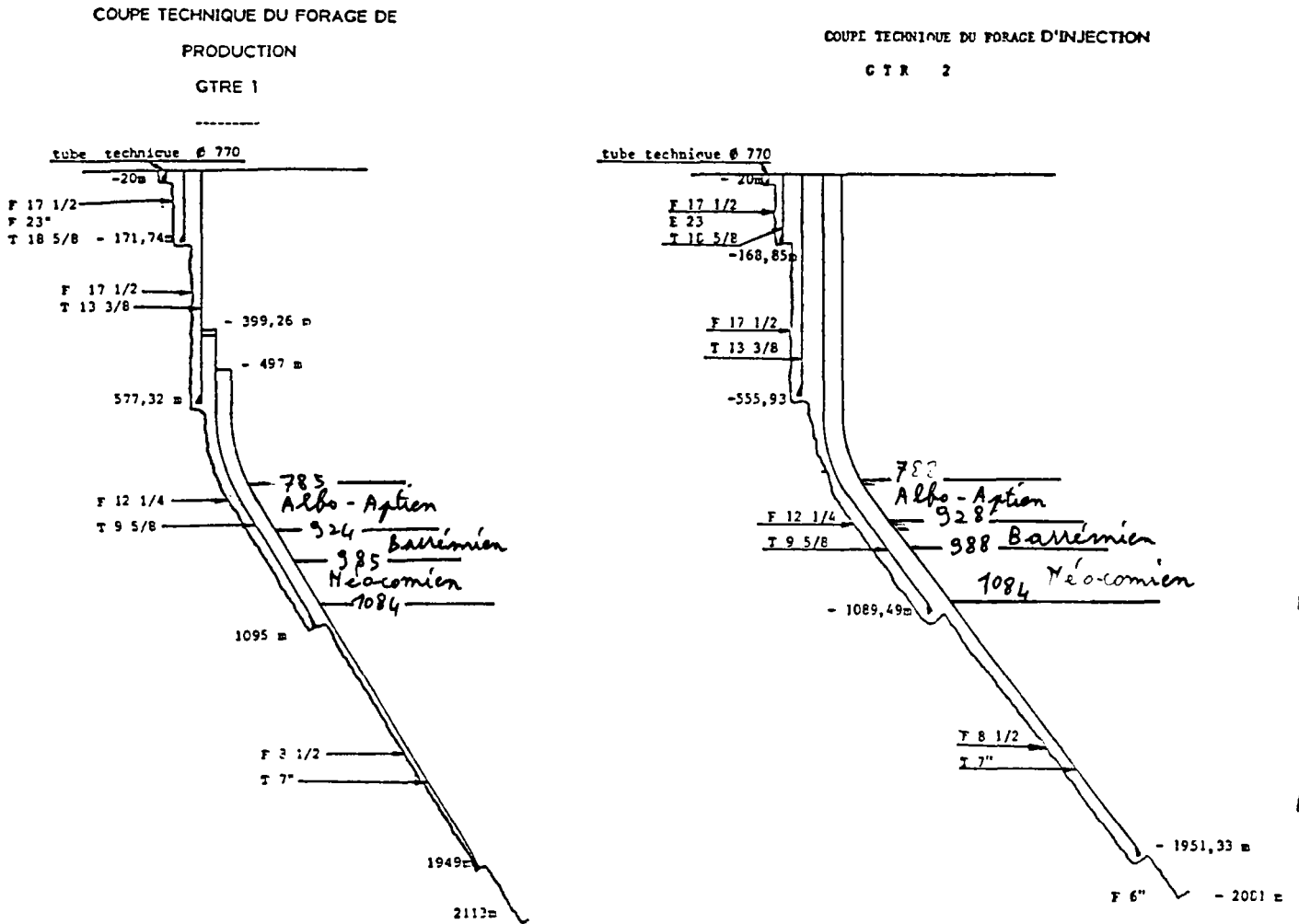
On note :

- . les couches productrices, selon la flowmétrie sont minces, sur le forage de production : 56% du débit vient d'un ensemble d'horizons d'épaisseur cumulée de 4.5 m seulement.
Les couches productrices sont légèrement moins minces sur le forage d'injection.
Ces couches minces évoquent une perméabilité de fissures.

Figure 1 - PLAN DE SITUATION



COUPES TECHNIQUES DES FORAGES



D'après document BRGM

Tableau 1

TREMBLAY LES GONNESSE - CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

	Profondeur mur du Dogger productif (verticale)		Epaisseur productive en m		Porosité en %		Transmissivité en Dm		Salinité g/l.		T de fond fin foration °C		Débit artésien fin foration m ³ /h		Pression artésienne bars	
	APS *	Réalité	APS *	Réalité	APS *	Réalité	APS *	Réalité	APS *	Réalité	APS *	Réalité	APS *	Réalité	APS *	Réalité
PRODUCTION	1840 ± 20	1778	25 ± 5	10,5	15 ± 2	14,5	30 ± 5	45	25 ± 5		71 ± 2	73,9	90	206 (max)	7 ± 2	7,5
INJECTION	1840 ± 20	1769	25 ± 5	18,9	15 ± 2	15,1	30 ± 5	58	25 ± 5		71 ± 2	74,2	90	180 85 avec C.P. = 5,5 bars	7 ± 2	8

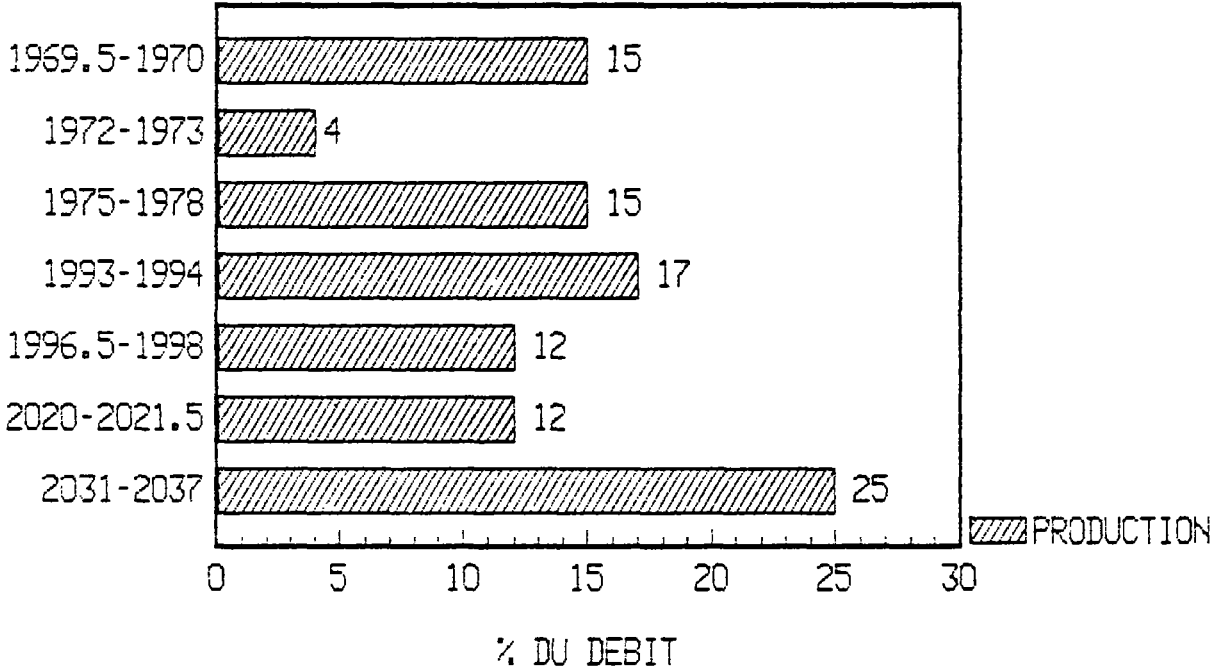
C.P. = contre-pression

* : selon document Géochoaleur de mai 1982

REPARTITION DES COUCHES PRODUCTIVES

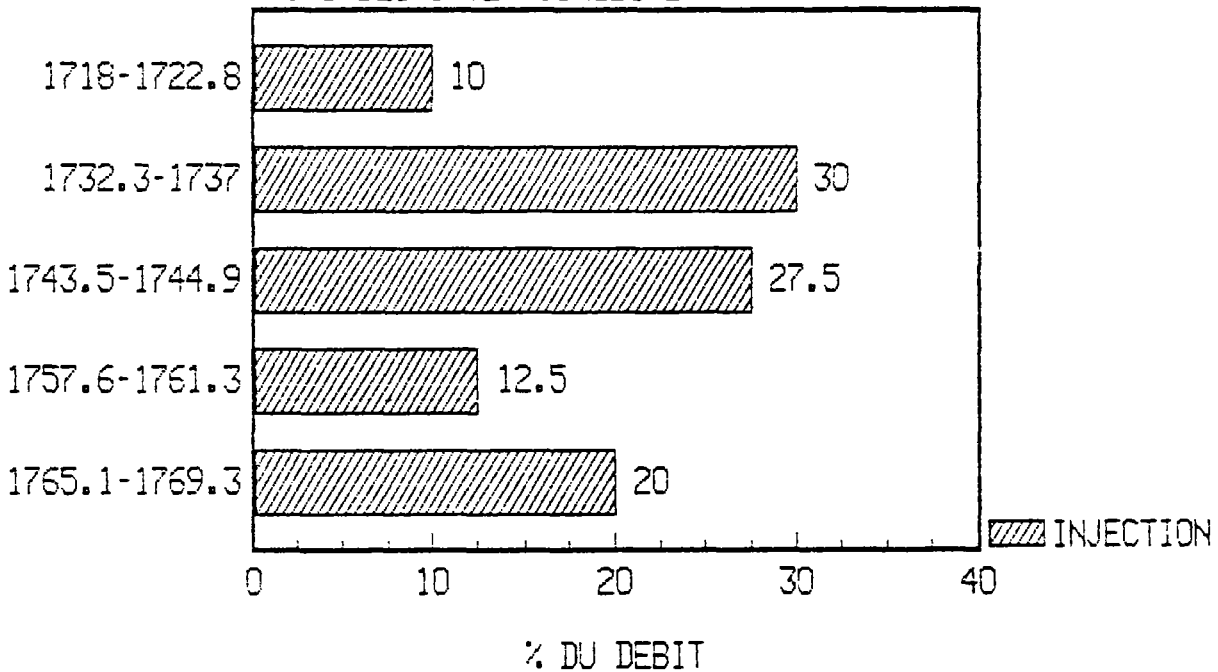
TREMBLAY-LES-GONESSE
REPARTITION DES COUCHES PRODUCTIVES
FORAGE DE PRODUCTION

PROFONDEURS DEVIÉES EN M



TREMBLAY-LES-GONESSE
REPARTITION DES COUCHES PRODUCTIVES
FORAGE D'INJECTION

PROFONDEURS VERTICALES EN M



- . le forage d'injection présente une meilleure transmissivité que celui de production
- . le doublet se situe dans une zone synclinale et où le toit du Dogger s'approfondit d'Ouest vers l'Est (Tremblay étant dans la zone d'approfondissement)
- . les résultats de fin de forage sont meilleurs que les prévisions (débit, température) de l'APS.

4 - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

Les installations existantes sont décrites en fiche 1 et le schéma de principe du circuit géothermal est reproduit en figure 4.

Commentaires :

- . les canalisations de la boucle géothermale sont en inox entre les têtes de puits et le local technique, et en acier revêtu époxy dans le local technique
- . il existe un système de filtration entre l'arrivée production et les échangeurs. Le filtre installé permet la mise en place de paniers à mailles variables
- . il n'existe pas de système de filtration en aval des échangeurs
- . il existe deux pompes de réinjection, l'une pouvant servir de secours
- . le local technique comprend un cloisonnement entre les installations électriques et les installations hydrauliques
- . un puisard permet de recueillir les eaux de fuites éventuelles

5 - OBSERVATIONS SUR LE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

5.1. - Mise en service

La boucle géothermale a été mise en service en octobre 1984, soit 15 mois après la réalisation des forages.

Il y a eu des incidents dès le début du fonctionnement, imputables aux matériels et non à une anomalie liée aux forages.

5.2. - Principaux incidents de fonctionnement

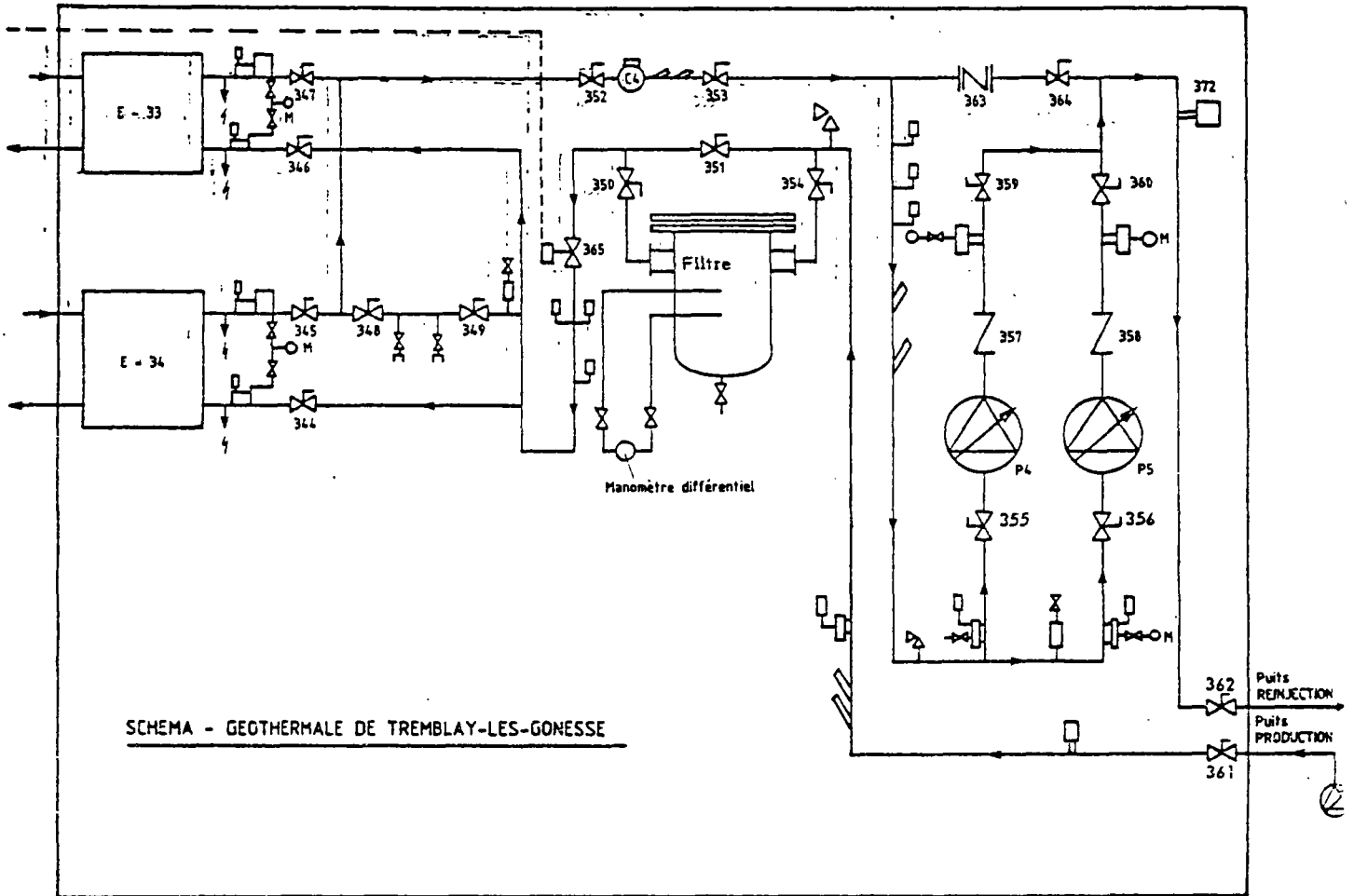
La liste des principaux incidents connus de fonctionnement est donnée au tableau 2.

On note :










- . de fréquents incidents sur la pompe d'exhaure, dès le démarrage, et pendant toute la première saison de chauffe.
Ces incidents concernent les liaisons électriques, notamment au niveau des raccordements câble - moteur ou entre câbles. La nature des câbles et épissures a été changée depuis
- . l'absence d'incidents sur la partie hydraulique de la pompe d'exhaure
- . des incidents sur le moteur de la pompe de réinjection
- . l'absence d'encrassement notable des échangeurs
- . plusieurs fuites sur le réseau géothermal, mais qui n'ont pas généré d'inondation notable du local, avec dégradation des matériels
- . d'autre part, le redresseur de cosinus phi fonctionne mal. Le fonctionnement des installations à pleine puissance ne peut être maintenu sans dijonctage.

TREMBLAY LES GONESSE

SCHEMA DE PRINCIPE DE LA BOUCLE GEOTHERMALE



(document C.F.G.)

-  Pompe à débit variable
-  Débitmètre
-  Vanne papillon
-  Clapet anti-retour
-  Sonde
-  Manomètre
-  Thermomètre
-  Soupape de sécurité
-  Vanne de régulation

HISTORIQUE DES PRINCIPAUX INCIDENTS

Date de l'incident	Remise en service	Nature de l'incident	Intervention
22/10/84		Mise en service pompe d'exhaure	
08/11/84	19/11/84	Panne pompe exhaure. Isolement défectueux. Etanchéité défectueuse du moteur	Remontée câble et moteur. Réparation
19/12/84	28/12/84	Panne pompe réinjection (barrette accouplement)	Echange moteur
08/01/85	23/01/85	Panne pompe exhaure. Défaut isolement électrique	Remontée câble et moteur
13/03/85	19/03/85	Panne pompe exhaure. Défaut isolement (épissure et connecteur)	Remontée câble plat + moteur
21/05/85	14/06/85	Panne pompe exhaure. Défaut isolement (épissure et connecteur)	Remontée câble plat + moteur
06/08/86	14/08/86	Réhabilitation du forage d'injection	
11/86	11/86	Changement pompe injection	
10/12/86	10/12/86	Fuite sur réseau géothermal	
26/01/87	26/01/87	Fuite sur réseau géothermal	

5.3. - Taux de disponibilité de la boucle géothermale

Les arrêts lors de la première saison de chauffe ont été particulièrement importants (cf. figures 5 et 6).

La plupart se sont produits en plein hiver (l'hiver 84-85 ayant, de plus, été rude).

Pendant la seconde et troisième saison de chauffe, les arrêts sont courts, à l'exception de la période de réhabilitation du puits d'injection (août 86).

On note une tendance à l'augmentation des incidents lors de la dernière saison.

5.4. - Problèmes observés de dépôts et corrosion

5.4.1. - Problèmes de corrosion sur les équipements de surface

Il ne nous a pas été signalé de fuites sur les canalisations inox entre têtes de puits et local technique.

Par contre, plusieurs fuites par percement se sont produites sur les canalisations en acier revêtu, à l'intérieur du local technique.

Ces fuites n'ont pas généré d'inondation importante du local, avec dégradation de matériels électriques ou électroniques.

Les fuites se sont multipliées lors de la troisième saison de chauffe.

Un contrôle de corrosion est effectué dans le cadre du contrat "Géoconfiance" par mesure d'épaisseur de conduites à la sonde à ultrasons.

Malheureusement, plusieurs repères ont été déplacés, rendant inutiles les interprétations. Les repères restés inchangés ne montrent pas d'évolution significative, ce qui ne signifie pas l'absence de risque de corrosion sur le réseau (cf. fuites signalées plus haut).

5.4.2. - Corrosion des casings de forages

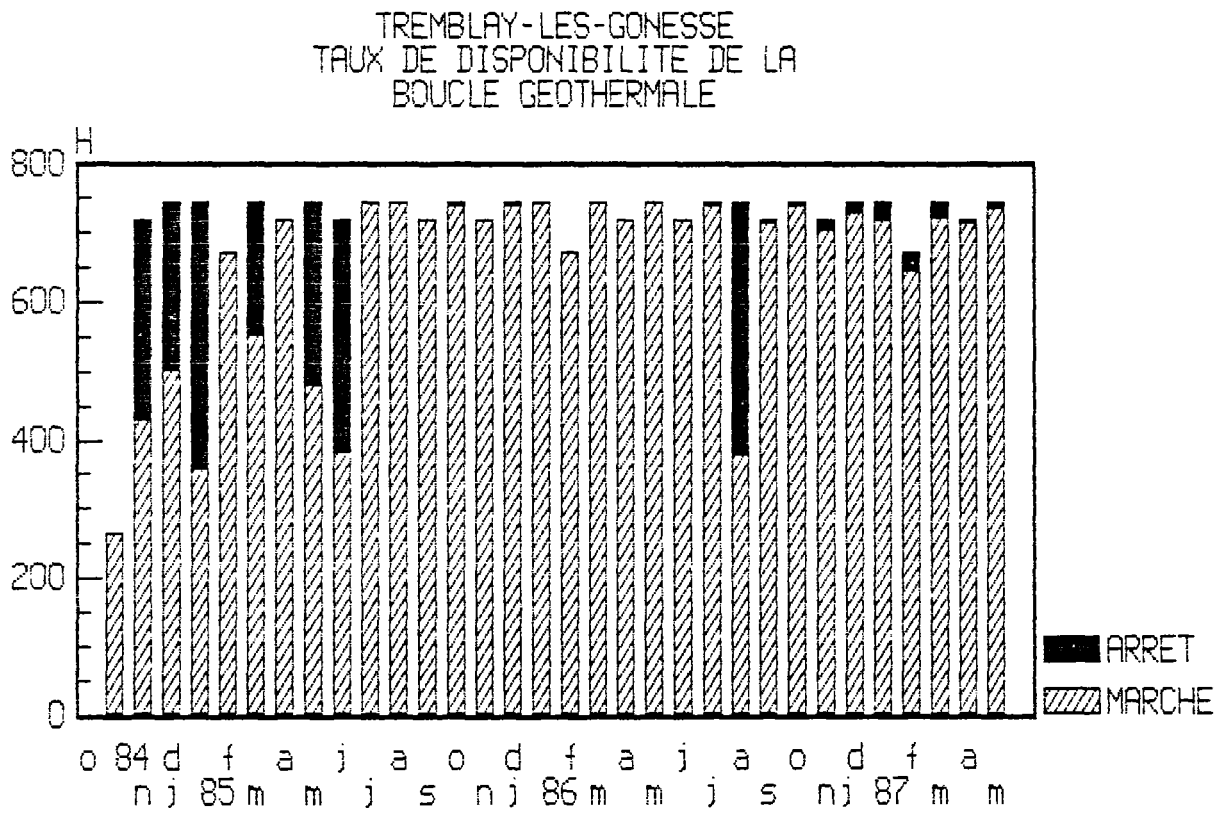
Il n'y a pas eu d'observation directe de phénomènes de corrosion des casings, hormis un calibrage de précision sur le tubage 7" du puits d'injection, en mai 1985. Ce calibrage n'aurait pas mis en évidence des creusements notables. Cependant, cette méthode a des limites puisqu'elle ne peut discerner un creusement sous un dépôt induré.

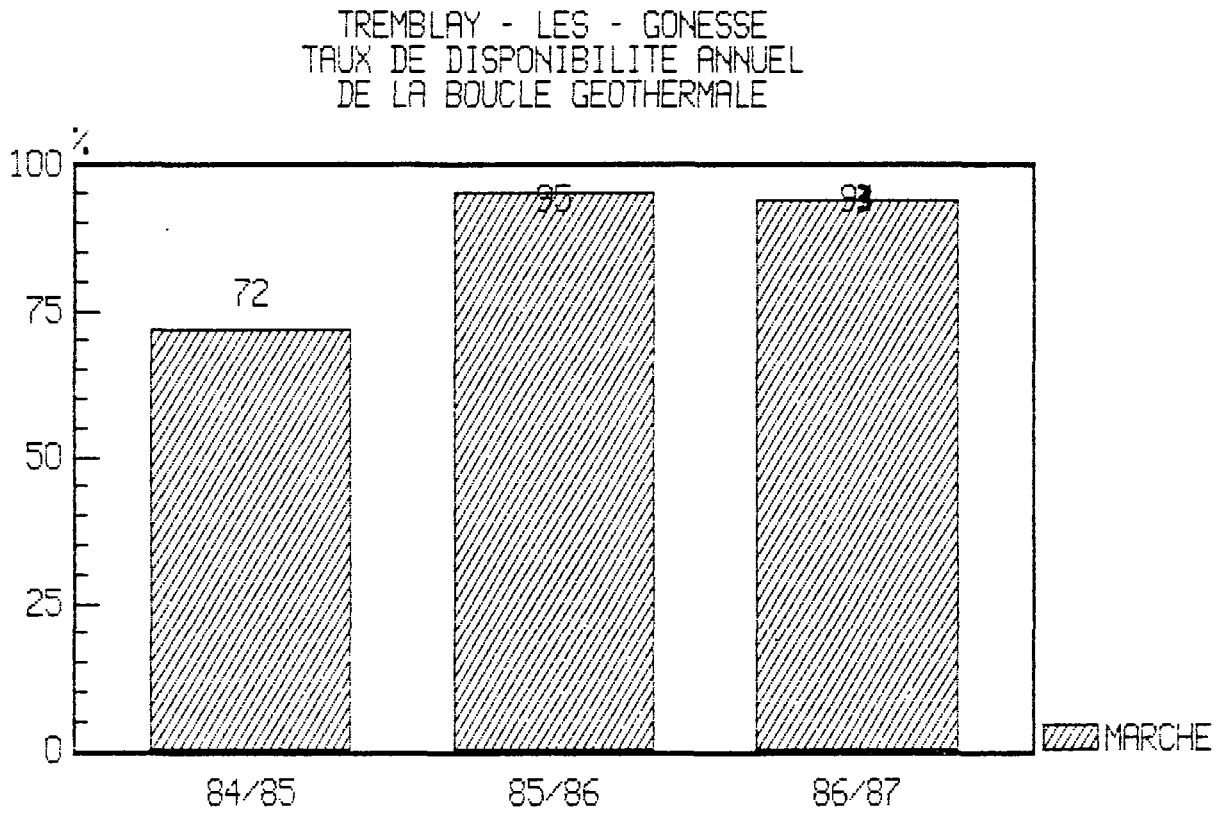
Il n'a pas été signalé de venues de particules étrangères au Dogger et pouvant conclure à un percement de casings.

Cependant, une corrosion est probable car l'existence de dépôts de sulfures de fer, identifiés au puits de réinjection suppose un apport en fer.

D'autre part, on constate, sur les analyses chimiques faites, que les teneurs en fer ne sont pas constantes (à l'inverse, par exemple, des teneurs en NaCl) mais augmentent lorsque le débit diminue, c'est-à-dire que le temps de contact eau géothermale - casings augmente.

Figure 5





5.4.3. - Essai d'inhibiteurs de corrosion

Il n'a pas été réalisé d'essai d'inhibiteurs en fond de puits ou au niveau de la chambre de pompage.

Seul un essai en surface a été mené le 30/04/1986. Il consista à placer une cellule de mesure de vitesse de corrosion sur un piquage en dérivation de la tête de puits production.

Deux additifs ont été expérimentés : le V1150 et le DC174 de la société Nalco (inhibiteurs de corrosion + bactéricides).

Ces additifs ont provoqué une baisse d'un facteur de 10 de la vitesse de corrosion.

L'essai n'a duré que quelques heures et est assimilable à une présélection de produits, sans recherche de dosage optimum.

Un projet d'injection d'additifs, de plus longue durée, a été proposé par la société de maintenance "sous-sol" (C.F.G.). Aucun traitement n'est commencé à ce jour.

5.4.4. - Dépôts dans les équipements de surface

Il n'a pas été signalé d'encrassement des échangeurs ni de dépôts importants dans le filtre situé avant ceux-ci.

Cependant, la taille du tamis ne permet pas d'arrêter de très fines particules (500 μ).

Dans la partie "froide" de la boucle, il n'y a pas de dispositif de filtration.

Les échangeurs n'ont pas été démontés et n'ont pas été nettoyés.

5.4.5. - Dépôts dans les forages

Des dépôts ont été mis en évidence seulement sur le puits d'injection :

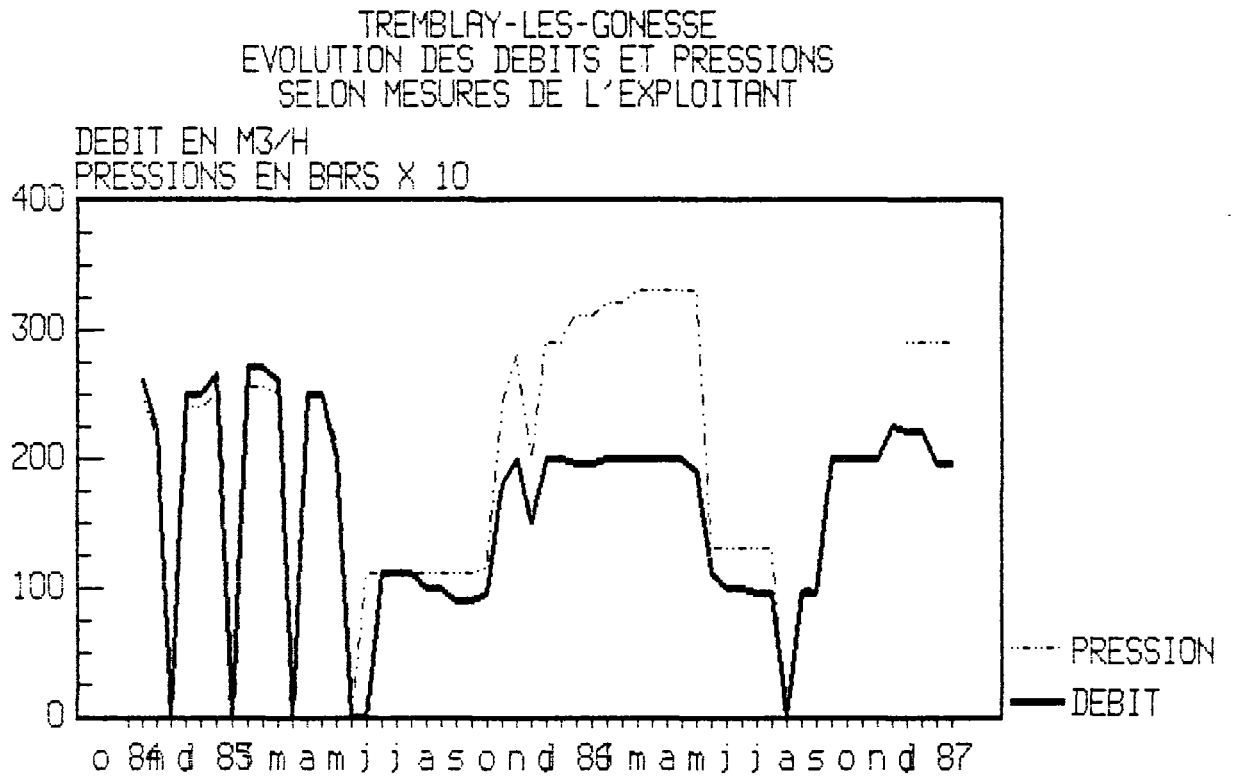
- directement, par calibrage de précision, en mai 85 (présence de dépôts peu épais, inférieurs à 2 mm) et contrôle de fond en mai 85 : colmatage important ;
- indirectement, par augmentation des pressions d'injection, dues à une augmentation des pertes de charge (cf. figure 7).

Il n'est pas exclu qu'il existe aussi des dépôts dans le forage de production car les rabattements sont supérieurs aux prévisions, les puissances électriques absorbées par la pompe d'exhaure tendent à augmenter et les courbes de filtrabilité, sur l'eau en tête de production, montrent l'existence de fines particules.

La réhabilitation d'août 86, sur le puits d'injection, a permis de décolmater les couches productives (seul subsistait, en fin d'opération, un dépôt de 9 m de sédiments, en fond de puits).

L'outil 6" utilisé n'a, par contre, sans doute pas permis de supprimer les dépôts minces sur le tubage 7" (il n'a pas été réalisé de calibrage de précision sur l'ensemble du tubage en fin d'opération).

L'eau géothermale est ici saturée en sulfures de fer. Une précipitation est donc possible et débute, en général, par les phases amorphes (qui ne sont pas détectables par diagraphies de calibrage).



La formation de dépôts peut être accentuée par activité bactérienne. De plus, la température du puits d'injection est propice au développement de colonies.

En conclusion, la formation de dépôts, déjà observée, ne peut que continuer, en l'absence de traitements destinés à bloquer la formation de sulfures de fer ou à bloquer la croissance des minéraux.

5.4.6. - Réhabilitation d'ouvrages

Suite aux baisses de débit et augmentation de la pression d'injection, et à la diaggraphie de mai 85 mettant en évidence un colmatage partiel du réservoir au puits d'injection, une réhabilitation a été opérée sur cet ouvrage en août 1986.

L'opération a consisté en :

- . un curage par descente d'un outil 6" en circulation + rotation
- . des dégorgements
- . trois acidifications.

Les résultats sont présentés au tableau 3.

On note que :

- . les acidifications n'ont pas permis d'améliorations de débit,
- . le débit artésien d'origine a pratiquement été retrouvé, ce qui signifie que l'aquifère lui-même ne s'est pratiquement pas dégradé.

Cependant, les écoulements aux abords immédiats du forage ne sont plus ceux d'origine et devraient être meilleurs : le rayon est plus grand et on s'attend à une dissolution préférentielle des calcaires selon certaines fissures

- . les essais en boucle (cf. paragraphe 6.3) ont montré une amélioration de la pression d'injection mais aussi que le débit contractuel (275 m³/h) et le débit d'origine n'étaient pas atteints. Une légère dégradation subsistait donc, qui peut être imputable à la modification de la rugosité des tubages ou à la subsistance de dépôts sur ces tubes.

6 - EVOLUTION DE LA FOURNITURE D'ENERGIE GEOTHERMALE

La quantité d'énergie géothermale fournie dépend :

- . du volume d'eau géothermale (débit, durée de pompage)
- . de la température de l'eau géothermale
- . de la température de retour de l'eau géothermique
- . des performances propres de l'échangeur

Pour ces deux derniers paramètres, voir l'étude "surface".

6.1. - Température de l'eau géothermale

En moyenne, la température est de 75°C en marche d'hiver à débit élevé et de 71°C en marche d'été à débit réduit.

Il n'a pas été signalé d'évolution anormale des températures. Les fluctuations observées sont liées aux variations de débit, avec un certain décalage dans le temps.

Tableau 3

TREMBLAY LES GONESSE
DEBITS ARTESIENS OBSERVES PENDANT LES TRAVAUX
DE NETTOYAGE DU Puits GTR 2
 AOUT 1986

JOUR	DEBIT m ³ /h	TEMPERATURE °C	CONTRE PRESSION		OBSERVATIONS (toutes les mesures sont faites sans tiges dans le trou)
			(2) bar	(3) m	
08/08/86	113 ± 6	56,5	0,2	-	Mesure avant nettoyage mécanique du puits
10/08/86	140 ± 7	60	0,35	-	Mesure après nettoyage mécanique du puits
12/07/86	133 ± 7 ⁽¹⁾	58	0,2	2,95	Mesure après nettoyage chimique du puits

(1) : débit théorique : $Q = 146 \pm 15 \text{ m}^3/\text{h}$ avec $t = 58^\circ \text{C}$ et $cp = 0,3 \text{ bar}$

(2) : manomètre

(3) : flexible

(selon document C.F.G.)

6.2. - Evolution des débits

On dispose des relevés de l'exploitant (cf. figure 7).

On note :

- . plusieurs périodes à débit nul, pendant la première saison (pannes de pompe d'exhaure)
- . un débit réduit en été, correspondant à des besoins eux-mêmes réduits (eau chaude sanitaire seule).
- . une décroissance des débits après la première marche d'été à débit réduit
- . une légère augmentation des débits exploités au début de la saison 86/87, c'est-à-dire après réhabilitation du puits d'injection.

6.3. - Evolution des hauteurs manométriques

La mesure seule du débit ne suffit pas : à un même débit peuvent correspondre des travaux bien différents de la pompe selon les rabattements ou pressions d'injection rencontrés.

Les pressions de refoulement de la pompe d'injection sont notées par l'exploitant (cf. figure 7) ainsi que par C.F.G. lors des contrôles périodiques (cf. figure 8).

Les rabattements dans le forage de production sont mesurés par C.F.G. dans le cadre de son contrat "Géoconfiance" (cf. figure 8). L'exploitant réalise aussi, parfois, quelques mesures.

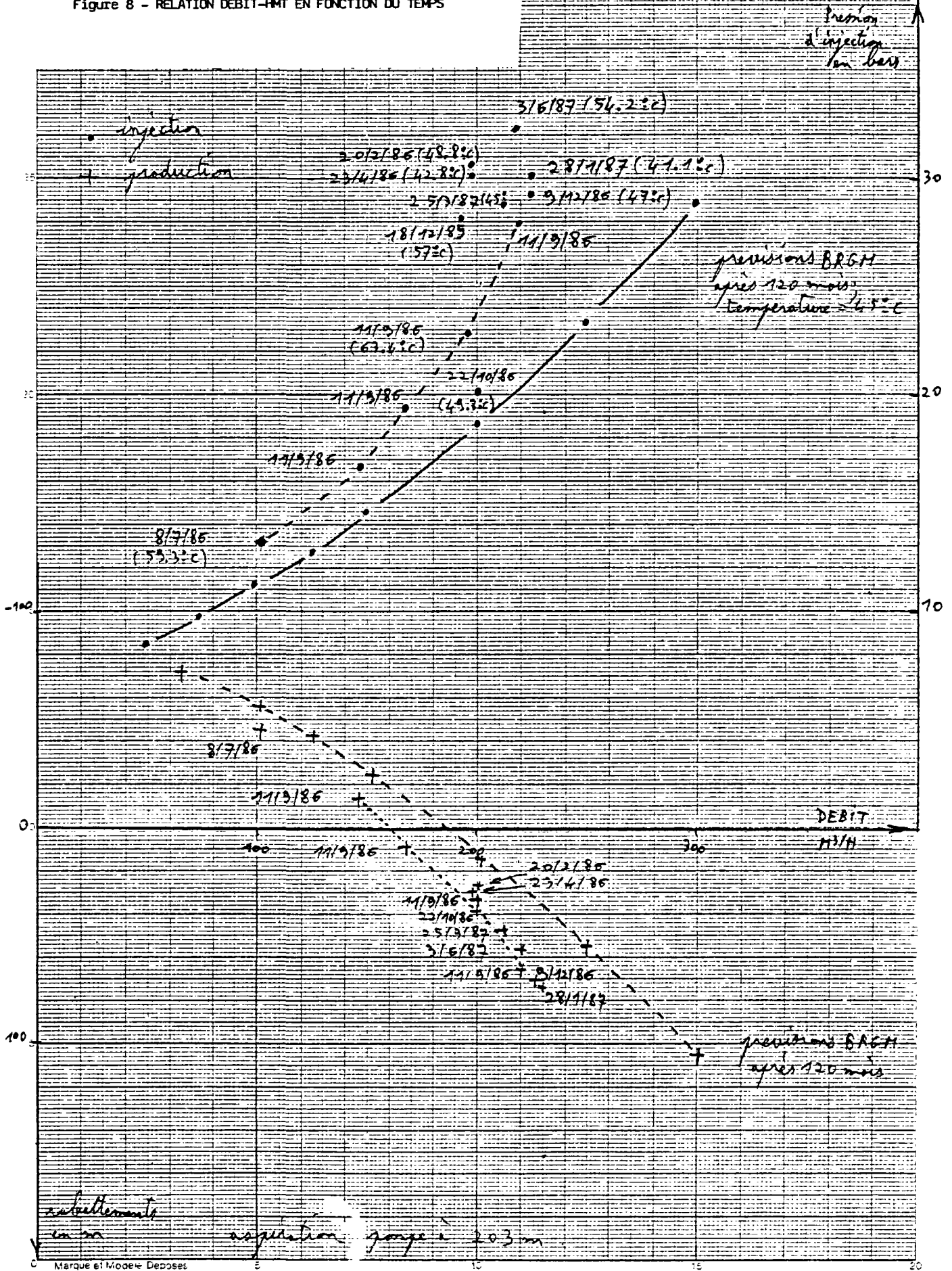
Commentaires de la figure 8 :

- . les rabattements dans le puits d'exhaure sont supérieurs aux prévisions, d'une trentaine de mètres,
- . on n'observe pas de dégradation nette des rabattements avec le temps (compte-tenu d'une légère incertitude sur les mesures de débit), pour la période de mesures
- . compte-tenu d'un point de bulle à 5 bars, les niveaux d'eau restent encore nettement au dessus de la pompe
- . les pressions d'injection sont supérieures aux prévisions, d'autant plus que les températures d'injection sont souvent supérieures à 45°C
- . de décembre 85 à l'été 86, les pressions d'injection augmentent, à débit égal
- . après la réhabilitation du forage d'injection en août 86, les pressions diminuent, tout en restant supérieures aux prévisions
- . à partir de mars 87, les pressions augmentent à nouveau pour se rapprocher des valeurs existant avant réhabilitation
- . en juin 87, la pompe d'injection fonctionnait à sa vitesse maximale.

La figure 7 montre bien l'augmentation très nette des pressions d'injection, après la marche à débit réduit de l'été 85 et le fait que les pressions continuent à croître pour un débit sensiblement constant.

Malheureusement, on ne dispose pas de mesures juste après la réhabilitation d'août 86, mais début 87 on constate que les pressions sont à nouveau élevées.

Figure 8 - RELATION DEBIT-HMT EN FONCTION DU TEMPS



6.4. - Evolution de l'énergie géothermique fournie

Les quantités d'énergie géothermique fournies sont représentées en figure 9.

On constate :

- . une augmentation annuelle de l'énergie géothermique fournie (mais avec une première saison incomplète). L'amélioration de 86-87 peut être attribuée, au moins en partie, à la réhabilitation du puits d'injection. Intervient aussi la diminution des temps d'arrêt par rapport à 84-85
- . une amélioration des taux de couverture (respectivement 51%, 52,5% et 62%) mais qui restent cependant inférieurs à la valeur contractuelle (73,9%)
- . une amélioration de l'énergie produite par mètre cube d'eau géothermale.

	84/85	85/86	86/87
Energie géothermique fournie en MWh utiles	28 312	32 389	37 702
Volume annuel d'eau (en m ³)	1 175 000	1 335 000	1 435 000 (estimé)
Ratio énergie/volume d'eau (en MWh/m ³)	0.0241	0.0243	0.0263

7 - CONSOMMATION D'ENERGIE DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

7.1. - Consommations mensuelles

Il n'existe pas de comptage séparatif entre les consommations des pompes géothermales et celles des installations géothermiques comprises dans le même local technique.

Les consommations totales sont reproduites en figure 10.

On constate :

- . une augmentation générale des valeurs mensuelles, en 85/86 et qui est imputable, au moins en partie, au colmatage partiel du forage d'injection
- . des valeurs toujours élevées en 86/87
- . des faibles valeurs en été (à débit réduit, la pompe d'exhaure n'a à fournir qu'un travail faible, en raison de la pression artésienne)
- . quelles valeurs mensuelles de pointe, qui ne correspondent pas à des périodes de débit-pression maxima (fonctionnement différent des pompes géothermiques ? ; correspondance des valeurs de débits géothermal - géothermique non maintenue ?)

Figure 9

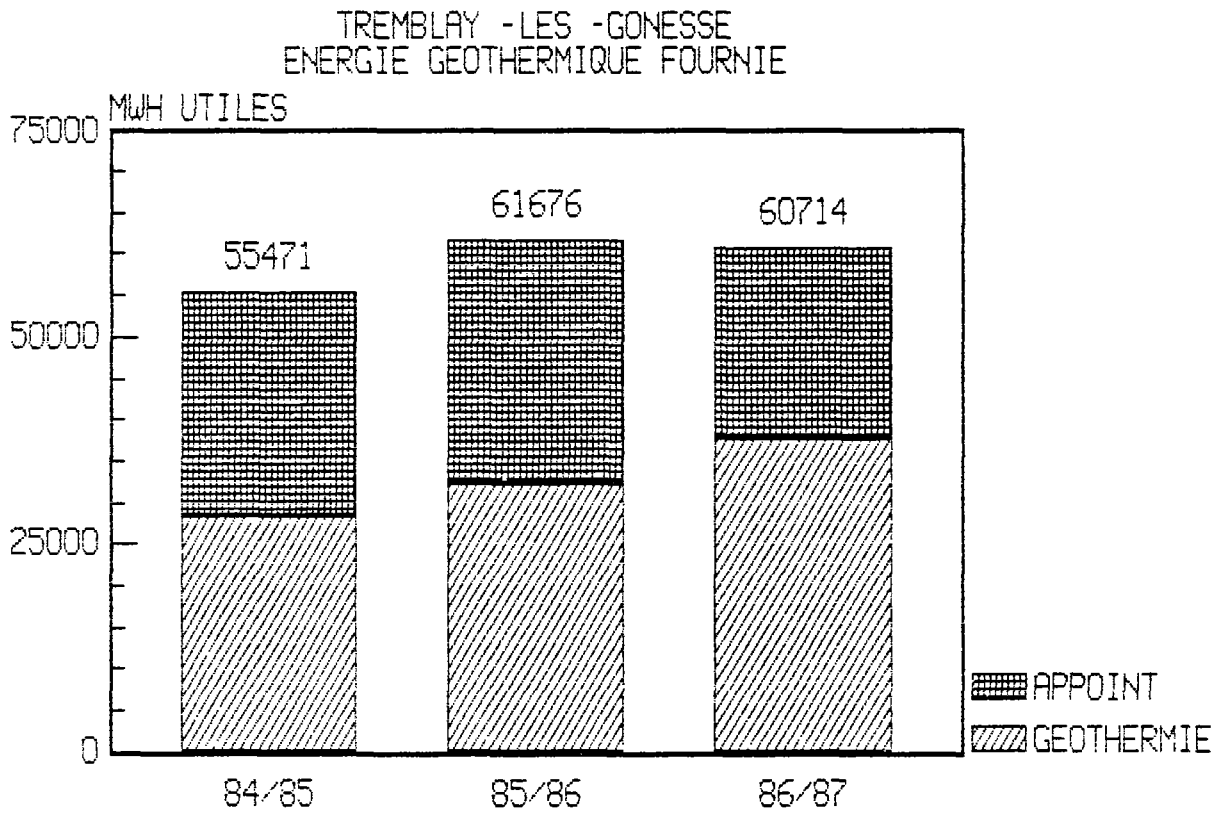
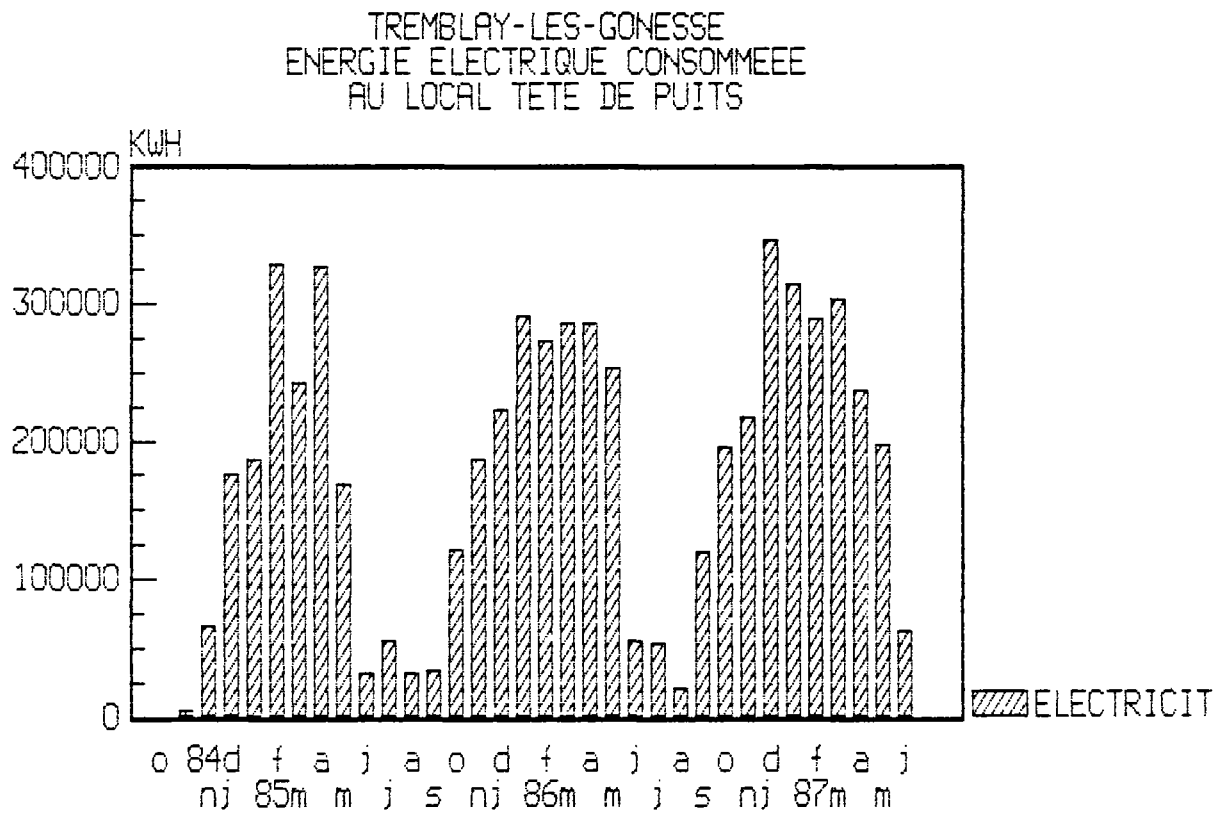


Figure 10



Les consommations annuelles sont :

	84/85	85/86	86/87
Consommations électriques (en MWh)	1 530	2 074	2 355
Fourniture d'énergie géothermique (en MWh utiles)	28 312	32 389	37 702
Ratio électricité/énergie géothermique (en kWh/MWh)	54,0	64,0	61,9

Par rapport à d'autres exploitations géothermiques du Dogger, ces ratios sont corrects et correspondent à un puits à débit relativement élevé avec température également forte.

Ils peuvent aussi correspondre à une bonne utilisation de la géothermie (bonne maîtrise des retours ? ; cf. étude surface).

Mais on constate qu'il faut de plus en plus d'énergie électrique pour produire des MWh géothermiques, avec cependant une légère diminution en 86/87. Cette dernière est à rapprocher des baisses de pression d'injection consécutives à la réhabilitation (au moins en début de saison).

Rappelons que ce ratio ne permet des comparaisons qu'en première approximation (le débit n'est pas en relation linéaire avec la fourniture d'énergie géothermique et les consommations électriques ne varient pas linéairement avec le débit).

7.2. - Puissance absorbée par les pompes

La puissance totale absorbée par les pompes de production et d'injection est mesurée par C.F.G. de façon périodique (contrat "Géoconfiance").

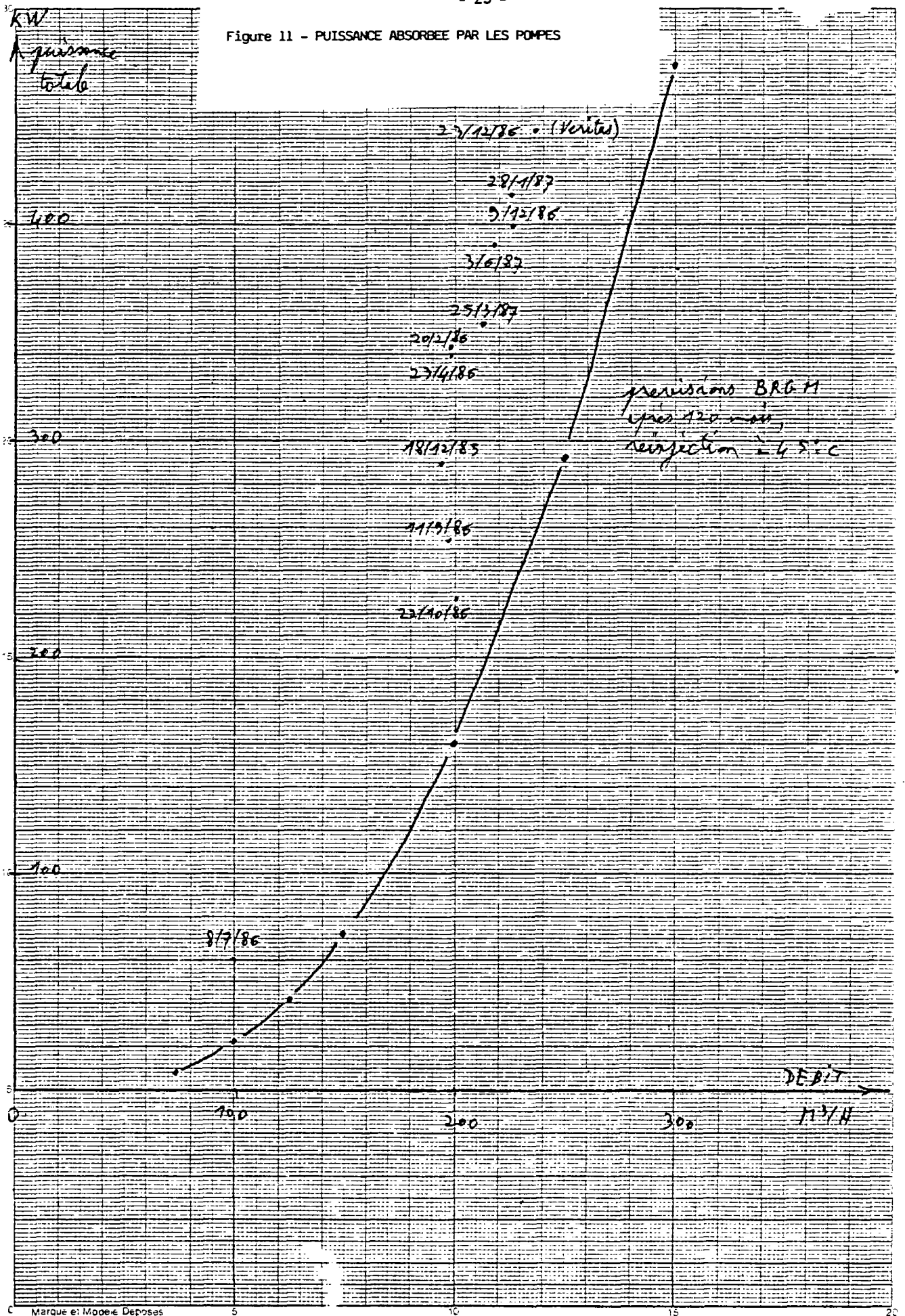
L'exploitant procède également à certaines mesures similaires.

Les valeurs C.F.G. sont reportées en figure 11, ainsi que la mesure Veritas du 23/12/86.

On constate :

- . que les puissances absorbées à l'entrée du variateur sont supérieures aux prévisions
- . qu'à débit comparable, les puissances augmentent, de décembre 85 à avril 86 (cf. augmentation des pressions de réinjection)
- . qu'à débit comparable, la puissance chute, en septembre et octobre 86, suite à la réhabilitation du puits d'injection
- . qu'à débit comparable, la puissance réaugmente à partir de décembre 86, traduisant l'existence de nouvelles pertes de charge. Le détail des mesures montre que c'est surtout la puissance de la pompe d'injection qui augmente mais on note aussi une tendance à l'augmentation pour la pompe de production, qui demande à être confirmée.

Figure 11 - PUISSANCE ABSORBEE PAR LES POMPES



8 - COMPTES D'EXPLOITATION PREVISIONNELS

Le groupement d'exploitants SAC-SACUR possède un contrat d'affermage incluant l'entretien et le renouvellement de la boucle géothermale, y compris les échangeurs géothermaux, les pompes de production et injection, leurs variateurs, les canalisations géothermales mais non compris les forages eux-mêmes.

Le contrat prévoyait un renouvellement de la pompe de production tous les cinq ans, avec inspection la première et troisième année de fonctionnement une révision la deuxième année et un fonctionnement sans démontage pendant 10 000 h.

Les postes R2C et R2GT (entretien, renouvellement) sont rémunérés selon l'énergie produite, étant supposé un débit contractuel de 275 m³/h fixe, une fourniture d'énergie géothermique de 45 859 MWh et un taux de couverture de 73,9%.

Le contrat du fermier prévoit également des mesures de suivi des paramètres de la boucle.

Les frais directs du maître d'ouvrage concernent, outre la délégation de maîtrise d'ouvrage à la Sodedat 93, les assurances (SAF notamment) et certaines dépenses sous-sol concernant les forages eux-mêmes (diagraphies ; réhabilitation).

Les conditions contractuelles de débit (275 m³/h) n'ont pas été vérifiées et le contrat ne prévoit pas de rémunération en fonction de tranches de débit réel.

Les durées de vie des pompes d'exhaure ont été nettement plus courtes que prévues. Ce point fait l'objet d'un contentieux.

Pour le futur, nous envisageons deux hypothèses :

- . Hypothèse haute : une solution technique est apportée au problème des phénomènes de corrosion-dépôts et la décroissance des débits est lente.
A noter que si les essais d'injection d'additifs déjà menés ont été encourageants, les résultats à plus long terme, en continu, restent encore à confirmer, notamment dans le cas d'une injection en fond de puits.
Ces injections nécessitent d'autre part des autorisations administratives.
- . Hypothèse basse : la corrosion et la formation de dépôts continuent à évoluer (traitement inexistant, inefficace ou non autorisé).
Les débits décroissent rapidement, avec augmentation des pressions d'injection et des réhabilitations deviennent nécessaires.

8.1. - Hypothèse haute

- . Traitement d'inhibiteurs de corrosion - bactéricide en continu, en fond de puits d'exhaure au moyen d'une ligne en matériaux composites, dès 1988/89. On suppose le puits d'exhaure suffisamment propre mais un nouveau curage du puits d'injection devient souhaitable
- . Décroissance lente des débits, correspondant à une altération de surface des casings à la subsistance de légers dépôts et éventuellement à une perte d'efficacité des bactéricides
- . pas de nécessité de rechemiser les forages d'ici l'an 2000
- . réhabilitation des deux forages par méthode légère ("hérisson" amélioré, coflexip, scraper,...) six ans après le début du traitement. Cette réhabilitation légère est destinée à palier une décroissance modérée des débits et surtout à permettre aux additifs d'agir à pleine efficacité (nota : les méthodes légères de réhabilitation doivent encore démontrer leur fiabilité)

- . diagraphies de contrôle des tubages tous les 3 ans
- . disponibilité moyenne de la boucle de 95%, sur l'année
- . encrassement réduit des échangeurs (nettoyage tous les 3 ans)
- . faible augmentation de pressions sur le puits d'injection et de rabattements sur le puits d'exhaure. En première approximation, les consommations électriques de la boucle sont constantes : à une diminution de débit correspond une augmentation de pertes de charge, les moteurs conservant les mêmes régimes.

Nous avons indiqué au tableau 4 les dates de renouvellement (ou de gros entretien) et les coûts correspondants, des principaux matériels.

Ces hypothèses de coûts, pour le scénario envisagé, viennent en remplacement du poste R2GT actuel.

8.2. - Hypothèse basse

- . décroissance rapide des débits
- . nécessité de réhabiliter le forage d'injection mais aussi celui de production
- . réalisation de dégorgements en bourbier
- . la poursuite des phénomènes de corrosion risque d'entraîner un percement des casings. Il n'est pas possible de prévoir quand surviendra cet incident majeur, ni l'importance des percements. Nous avons adopté arbitrairement un rechemisage partiel sur les deux forages douze ans après leur réalisation
- . réduction du débit d'environ 30% après rechemisage, due à la réduction de section et à l'augmentation des pertes de charge
- . en première approximation, consommation électrique des pompes sensiblement constante : les moteurs fonctionnent sensiblement aux mêmes régimes : aux pertes de débit correspondent des augmentations de pertes de charges
- . encrassement plus rapide des échangeurs
- . corrosion accrue en surface
- . durée de vie des pompes plus courte
- . disponibilité moyenne de la boucle de 90% sur l'année
- . diagraphies de contrôle de tubages tous les trois ans
- . il est envisagé ici trois réhabilitations et un rechemisage partiel. Ceci paraît un maximum pour les ouvrages (dégradation possible des casings lors des manoeuvres ?)

ANNEE	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/2000	2000 /2001	2001 /2002
Débit géothermal (en m ³ /h)	230	230	220	220	210	200	190	225	220	210	210	200	200	190
P'1 Electricité en Mwh	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
P2 Conduite de la boucle Contrat suivi	Selon contrat SAC-SACUR actuel													
Nettoyage échangeurs	2 x 25			2 X 25			2 X 25			2 X 25			2 X 25	
Produits inhibiteurs	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
P3 Pompe exhaure + colonne + cable	1 900			1 900			1 900		1 900			1 900		
Pompe à injection					700					700				700
Echangeurs												1 400 (renouvellement)		
Réseau boucle surface	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Variateurs										700 (gros entretien)				
Contrôle tubages	60+60			60+60			60+60		60+60			60+60		
Ligne de fond + matériel d'injection d'inhibiteurs	800													
Acidifications avec SAF														
sans SAF														
Réhabilitation avec SAF	540							540						
sans SAF	1100							2 x 600						
Imprévus (5% du P3)	165			100	35		100	30	170			170		35
Assurances (p.m.)														
Frais de gestion du M.O. délégué p.m														

Coûts en kF H.T.

Tableau 4 - TREMBLAY LES GONASSE - COMPTES D'EXPLOITATION PREVISIONNELS
Hypothèse haute

ANNEE	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/2000	2000/2001
Débit géothermal (m³/h)	200	180	230	210	190	170	220	200	150	140	125	105	140
P1 Electricité pour l'ensemble de la station (MWh)	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
P2 Conduite de la boucle Contrat suivi Nettoyage des échangeurs Produits inhibiteurs	2 x 30 0	Selon 2 x 30 0	contrat 2 x 30 0	SAC-SACUR 2 x 30 0	actuel 2 x 30 0	2 x 30 0	2 x 30 0	2 x 30 0	2 x 30 0	2 x 30 0	2 x 30 0	2 x 30 0	2 x 30 0
P3 maintenance pompe d'exhaure	1900		1900		1900		1900	1900		1900		1900	
Gros entretien pompe d'injection				700				700				700	
Gros entretien variateurs									700				
Gros entretien échangeurs									1200 (renouvellement)				
Gros entretien réseau boucle surface	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Ligne de fond + matériel annexe d'injection													
Contrôle tubages	60+60			60+60			60+60		60+60			60+60	
Réfection tubages . avec SAF . sans SAF									540 2 x 2000				
Dégorgements . avec SAF . sans SAF		150		150		50		50		50		50	
Réhabilitation . avec SAF . sans SAF			540 2 x 1100				540 2 x 1100						540 2 x 1100
Imprévus (5% du P3)	100	10	125	50	100	5	130	135	130	100	-	140	30
Assurances (dont SAF) p.m.													
Frais de gestion du maître d'ouvrage délégué + B.E. suivi p.m													

Coûts en kF H.T.

Tableau 5 - TREMBLAY-LES-COÛTESSE - COMPTES D'EXPLOITATION PREVISIONNELS

Hypothèse basse

9 - CONCLUSION

Les bons résultats de fin de foration permettaient d'espérer exploiter un débit de 275 m³/h avec une température en tête relativement élevée (76°C).

La mise en service de la boucle géothermale s'est heurtée à plusieurs pannes de pompe d'exhaure, essentiellement, qui ont fortement diminué le taux de marche de l'installation, pendant la première saison de chauffe.

Par la suite, une augmentation continue des pressions de réinjection limita le débit et justifia une réhabilitation du forage d'injection où les dépôts de sulfures de fer étaient abondants.

Après une amélioration réelle du débit exploitable, on constate actuellement une nouvelle aggravation des pressions d'injection.

On note également une légère tendance à une dégradation sur le puits d'exhaure, qui demande à être suivie.

L'avenir de cette exploitation passe par une maîtrise des phénomènes de corrosion - dépôts, qui reste à acquérir, sinon il faut s'attendre à une diminution nette de la fourniture d'énergie géothermique et à une hausse de ses coûts d'exploitation.

Actuellement, le débit exploitable est de l'ordre de 220 m³/h et la fourniture géothermique annuelle de 38 000 MWh, soit 62% des besoins.

ANNEXE

mise à jour : Avril 1987

IDENTIFICATION

OPERATION : TREMBLAY-LES-GONESSE

MAITRE D'OUVRAGE : S.E.A.P.F.A.

MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE : SOEDAT 93

CONSEIL AU MAITRE D'OUVRAGE GEOCHALEUR

MAITRES D'OEUVRE : - Sous-sol : B.R.G.M.
 - Surface : BERIM + BETURE

NOMBRE D'EQUIVALENT-LOGEMENTS RACCORDES : 3 445

ENERGIE D'APPOINT :

NOMBRE DE DOUBLET GEOTHERMIQUE : 1

MISE EN SERVICE : 25 octobre 1984

FIN TRAVAUX FORAGES : 13 juillet 1983

DESCRIPTIF DES INSTALLATIONS SOUS-SOL

F O R A G E S

NUMEROTATION	PRODUCTION	INJECTION
	GTRE 1	GTRE 2
Chambre de pompage ou réinjection - DIAMETRE - PROFONDEUR	13"3/8 399 m	7" 1951 m
Déviation - MOYENNE - MAXIMALE	41° 49° 602 m	36° 50° 600 m
Protection Albien-Néocomien - DOUBLE-TUBAGE ? - CIMENTATION AMORCE DEVIATION	9"5/8 7" Double cimentation	9"5/8 7" Double cimentation
DIAMETRE FORATION AQUIFERE	6"	6"
HAUTEUR (déviée) DE LA ZONE DE SEDIMENTATION (Fond du forage à dernier horizon producteur)	76 m	62 m
Tubages en contact avec fluide géothermal - DIAMETRE - NUANCE ACIER - EPAISSEUR EN MM	13"3/8 9"5/8 7" K55 K55 K55 9.65 8.94 9.19	7" K55 9.19
ECARTEMENT DES FORAGES (au-dessous du toit Aquifère)	1430 m	

DISPOSITIF D'EXHAURE

GENRE : ~~Artesien~~ - ~~Arbre long~~ - Immergée - ~~Turbo pompe~~ -

MARQUE : BYRON-JACKSON

TYPE : 11 MQH 4ét.

DIAMETRE :

MOTEUR : 12 M - BYRON-JACKSON

PUISSANCE : 242 KW
275 M³/h pour HMT = 200 m

SOUS : 2300 V

PROFONDEUR IMMERSION : Base du groupe de pompage à 208 m

COLONNE D'EXHAURE : HAGUSTA

DIAMETRE : ext. : 213 mm - int. : 178 mm

NATURE MATERIAU : Acier revêtu caoutchouc

Base groupe de pompage à 208 m.

DESCRIPTIF DES INSTALLATIONS SURFACE

VARIATEUR POMPE EXHAURE

MARQUE : CGEE ALSTHOM - TYPE : VARIAL "C" - 350 KVA

ECHANGEUR : NOMBRE : 2

NATURE : A plaques en titane

MARQUE : ALFA-LAVAL TYPE : A 15 BFM

PUISSANCE : 5495 TH/h chacun

SURFACE D'ECHANGE : 534.75 m² chacun

FILTRE :

MARQUE : PHILIPPE TAMIS : maille 1 mm
TYPE : FAP 60A

DECANTATION :

TUYAUTERIES SURFACE

NATURE MATERIAU : Acier avec revêtement résine

POMPE INJECTION *

MARQUE : ALSTHOM-ATLANTIQUE TYPE : CHP 17 1/2 II

MOTEUR : LEROY-SOMMER TYPE : PE 15L

PUISSANCE : 250 KW SOUS : 380 V

VARIATEUR INJECTION :

MARQUE : CGEE ALSTHOM TYPE : VARIAL "C" - 350 KVA

POMPE INJECTION MARCHE ETE

MARQUE : TYPE :

PUISSANCE :

* Nota : En novembre 86, changement pompe injection - ALSTHOM ATLANTIQUE PR2M 150-32 avec moteur LEROY-SOMMER P315L2 de 250 KW sous 380 V

CARACTERISTIQUES DE LA RESSOURCE

	Epaisseur Totale - m	Epaisseur productive - m	Perméabilité en D	Transmissivité en D.m	Porosité en %
PRODUCTION		10.5	4.25	45	14.5
INJECTION		18.9	3.07	58	15.1

AQUIFERE CAPTE : DOGGER

EVOLUTION DE LA FOURNITURE GEOTHERMALE

ANNEE	MWH utiles géothermiques	Taux disponibilité	Taux de couverture
84/85	28 312	72%	51%
85/86	32 389	95%	52.5%
86/87	37 702	93%	62%

EVOLUTION DU FLUIDE GEOTHERMAL

DATE	pH	Eh mv	NaCl ppm	Résist. mS/cm	Sulfures ppm	fer ppm	Q m3/h	pt de bulle bar	GLR %	Température en tête °C	Bactéries	
											F*	S*
31/05/83 prod.	6,33	- 330	23120	71,1	21	0,7		-	10	66,9	0	0
26/08/86	6,38 à 70°C	- 355 à 70°C	20931	39 à 70°C	-	0,6	93,6	4,3 à t	9,06 à t	71	0	0
02/12/86	6,26 à 71°C	- 323	20990	39,5	24,48	0,112	242	4,7 à t	7,3 à 70°C	72,7	0	0
12/12/86	6,3	- 347	19700	54	22,4	0,4	-	7,6	7,7	72,2	0	0
03/03/86	6,31	- 345	20838	47	25,8	0,3	198	4,5 à 46.5°	8,7	73,3	0	0
02/12/86	6,26	- 323	20990	39,5	24,48	0,112	242	4,7	7,3	71,7	0	0
19/02/87	6,3	- 324	20547	38,4	25,7	0,077	211	5,1	9,2	73,1	0	+

* F = ferrobactéries
S = sulfatobactéries

0 = absence
+ = présence

FOURNITURE GEOTHERMALE : EVOLUTION DU FONCTIONNEMENT

DATE	Q produc m3/h	T tête de puits	T retour puits	P en tête puits produc. bars	P en tête puits injection bars	P Aspira- tion pompe In bars	PUISSANCE EN kW ABSORBEE			Rabat en m	P Artési- enne bars
							Produc.	Injection	Total		
Essai sur GTRE1	100	73,9 1969 m dev									7,5
18/12/85	193,5	74	57	8,35	28,34	7,2	121,5	168,27	289,77		7,6
20/02/86	198	73,3	48,8	8,68	32,2	7,4	135,51	207,94	343,45	27,2	7,7
23/04/86	198	72,1	42,8	8,7	33,2	7,4	134,40	206,21	340,61	27,2	7,7
08/07/86	102	70,8	59,3	8,38	13,25	7,05	30,31	29,89	60,20	- 45,6	8,28
11/09/86	197 ?	74,8	63,4	8,32	22,8	6,6	123,55	131,74	255,29	31,5	8
22/10/86	199	73,3	49,3	8,50	20,20	7,4	114,33	112,9	227,23	38,2	7,4
09/12/86	226	75,0	47,0	8,8	29,6	7,5	194,11	205,16	399,27	70,2	8,10
28/01/87	227 ?	72,1	41,1	8,44	30,0	8,28	190,12	222,92	413,04	70,2	7,4
25/03/87	212	74,8	45,0	8,72	28,94	7,84	156,94	197,39	354,32	47,1	7,6
03/06/87	218	72,7	54,2	8,82	32,15	8,3	164,7	226,1	390,8	56	8,3

1
0
1

FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS : LES INTERVENANTS

EXPLOITANT : SACUR-SAC

CONTRAT DE CHAUFFAGE : AFFERMAGE AVEC RENOUVELLEMENT TOTAL

CONTRAT SAF LONG TERME										
Montant total garanti : 31 690 394 F HT	DATE	Q m3/h	P. Exhaure		P. réinjection		T. exhaure	T. réinjec.	Po kW	Pi kW
			kW	sous V	kW	sous V				
PROTOCOLE DEFINITIF	29/10/85	275	242	2000	250	380	74	30	14 054	13 351 25/10/89
MESURES VERITAS	23/12/86	237,9	209,6		234,2		73,3	49,7		

CONTRAT DE SUIVI - MAINTENANCE

SOCIETES		TYPE DE CONTRAT	CARACTERISTIQUES	DEBUT	FIN
MAINTENANCE	CLIENT				
CFG	fermier	Suivi	Suivi paramètres boucle + suivi corrosion		

REHABILITATIONS

DATE	FORAGE	NATURE DE L'INTERVENTION	RESULTATS	
			Avant	Après
6 au 14/08 1986	Injection	Curage à l'outil ; acidification ; flowmètre - diamètre	113 m ³ /h artésien 56.5°C	133 m ³ /h artésien 58°C

ESSAIS D'INHIBITEURS :

Essai de produits Nalco le 30 avril 1986 en surface, sur dérivation tête de production.
Résultat : diminution de la vitesse de corrosion mesurée à la sonde de polarisation.