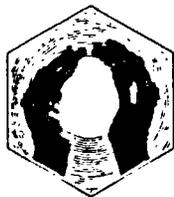




BRGM



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

Sucy en Brie (Val de Marne)

Gilbert BRETTE

88 SGN 435 DIG

**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**

S O M M A I R E

INTRODUCTION.....	1
1 - SITUATION DU DOUBLET.....	2
2 - REALISATION DES FORAGES.....	2
3 - IMPORTANCE DES ZONES PRODUCTIVES.....	3
4 - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	3
5 - OBSERVATIONS SUR LE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE.....	6
5.1. - Mise en service.....	6
5.2. - Taux de disponibilité.....	6
5.3. - Principaux incidents de fonctionnement.....	6
6 - EXAMEN DE L'EVOLUTION DES DEBITS.....	8
6.1. - Evolution du puits d'injection.....	8
6.2. - Evolution du puits d'exhaure.....	10
7 - ETAT DES FORAGES.....	10
7.1. - Auscultation du puits d'injection.....	10
7.2. - Auscultation du puits de production.....	11
8 - EVOLUTION DU CHIMISME DE L'EAU GEOTHERMALE.....	11
9 - REHABILITATION ET ESSAI D'ADDITIF.....	12
10 - ENERGIE GEOTHERMALE PRODUITE.....	12
11 - CONSOMMATION ELECTRIQUE DES POMPES.....	12
12 - COMPTE D'EXPLOITATION DE LA BOUCLE GEOTHERMALE....	14
CONCLUSION.....	20

LISTE DES FIGURES

- 1 - Plan de situation
- 2 - Coupe du forage de production
- 3 - Coupe du forage d'injection
- 4 - Schéma de principe de la boucle géothermale
- 5 - Disponibilité de la boucle géothermale
- 6 - Evolution du débit et de la pression d'injection
- 7 - Evolution des caractéristiques pressions/débits des puits producteur et injecteur
- 8 - Evolution de la fourniture d'énergie géothermale
- 9 - Evolution de la consommation d'électricité par MWh

LISTE DES TABLEAUX

- 1 - Sucy-en-Brie : caractéristiques hydrogéologiques
- 2 - Evolution du débit géothermal et de la pression d'injection
- 3 - Consommation électrique des pompes : mesures de puissance absorbée par les pompes géothermales
- 4 - Relevés des consommations d'électricité
- 5 - Comptes d'exploitation prévisionnels : hypothèse optimiste
- 6 - Comptes d'exploitation prévisionnels : hypothèse pessimiste

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 SOGESUB (Société de Géothermie de Sucy en Brie), filiale de la CGEC qui est l'exploitant de la centrale géothermale.

1 - SITUATION DU DOUBLET

Le doublet de forages est situé en plein centre ville de Sucy-en-Brie (94), à proximité immédiate du "Château de Sucy", immeuble classé "monument historique", et à environ 150 m d'une école.

Il dessert environ 2500 équivalents-logements répartis en 4 groupes d'immeubles (cité verte A et B, Fosse rouge, les Monrois) et établissements divers (écoles, maison de retraite, petit centre commercial). Un raccordement supplémentaire (résidence "les jardins de Sucy"), environ 1000 MWh/an est prévu.

Le doublet de Sucy est distant de 4,5 km environ de celui de Champigny, de 3 km environ de celui de Bonneuil et de 4 km environ de celui de Créteil-Mont Mesly.

2 - REALISATION DES FORAGES

Les travaux de forage se sont achevés en juin 1984. Chacun des forages a été réalisé en déviation à partir d'une même plateforme.

On note pendant la réalisation du forage de production :

- des pertes d'injection de fluide de forage (jusqu'à près de 40 m³/h), dans le Tertiaire, face à des aquifères superficiels (Lutétien à Yprésien), et dans la craie du Sénonien.
Ces pertes sont susceptibles d'avoir gêné la qualité de la cimentation du 13"3/8.
- la présence d'un seul tubage cimenté (13"3/8) face aux aquifères superficiels
- des difficultés pour mettre en place le 13"3/8 de la chambre de pompage. Le casing dut être remonté au jour pour être redescendu, après remplacement du sabot, détérioré, et échange de quelques tubes
- des difficultés lors de la cimentation du 13"3/8 : pertes d'injection de laitier : le volume théorique brut de l'annulaire 17"1/2 - 13"3/8 était de 26 m³.
Plus de 40 m³ de laitier furent envoyés. Le laitier ne remonta pas au jour et les 70 derniers mètres durent être cimentés directement à partir de la surface.
Il n'y a pas eu de contrôle de cimentation (CBL - VDL) de la chambre de pompage.
- il ne semble pas y avoir eu de difficultés particulières lors de la foration de l'aquifère, ni lors de la pose du 7".

On note pendant la réalisation du forage d'injection :

- des pertes de fluide de forage en face des aquifères supérieurs (Tertiaire + craie sénonienne), avec perte totale dans la craie, à l'origine d'un coincement et d'une instrumentation de 7 jours.
L'instrumentation ayant été infructueuse, le programme de forage fut modifié (début de déviation nettement plus haut que prévu, afin d'éviter le "poisson").

On note des pertes partielles de laitier lors de la cimentation du 13"3/8 (pertes légères) et du 9"5/8 (ciment non remonté au jour). Il ne semble pas y avoir eu de contrôle de cimentation du 13"3/8 et des 70 mètres supérieurs du 9"5/8.

- La pose et la cimentation du 7" ne semblent pas avoir présenté de difficultés particulières ; hormis une perte lors de la cimentation du deuxième étage.

D'une façon générale, on note :

- aquifère foré en petit diamètre (6")
- déviations modérées (moyenne de 21° sur puits de production, de 26° sur puits d'injection ; maxima respectifs de 24°1/4 et 30°1/4).

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.

- un seul tubage cimenté en face des aquifères profonds (Albien-Néocomien). Il s'agit ici d'un choix économique et non d'une solution imposée par un programme de foration en gros diamètre
- tous les casings en contact avec le fluide sont en acier ordinaire (avec traitement Vallourec VE K2)
- les zones hautes (en face des aquifères superficiels) n'ont pas bénéficié de contrôle de cimentation, sur aucun des puits. Seuls les 15 premiers mètres du forage de production comprennent un double tubage (500 mm ; 13"3/8). Le forage d'injection est mieux protégé, avec 2 tubages cimentés, sans compter le tube-guide, en tête.

3 - IMPORTANCE DES ZONES PRODUCTIVES

Les caractéristiques hydrogéologiques sont résumées au tableau 1.

On note que :

- la réalité est conforme aux prévisions. Les résultats sont même meilleurs en ce qui concerne le débit et la température.
- l'aquifère présente de bonnes caractéristiques : transmissivités élevées et fortes températures (légère anomalie locale)
- les couples débit-pression obtenus montrent que le développement des ouvrages était suffisant.

Ces bonnes caractéristiques initiales permettaient d'envisager des pressions d'injection faibles et un rabattement réduit.

4 - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

La boucle géothermale comprend (cf. figure 4) :

- une pompe d'exhaure Guinard à arbre long, F10.220 T/S placée à 200 m. L'arbre est en inox. Compte-tenu du point de bulle réel et du rabattement actuel, cette pompe est placée trop bas et pourrait être remontée d'une cinquantaine de mètres. Cette manoeuvre est prévue par le Maître d'Ouvrage et son conseiller sous-sol (Géophase) lors de la prochaine remontée de la pompe. Le variateur de cette pompe est de amrque Reliance, type 3C-15-240.

Tableau 1

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES - SUCY EN BRIE

FORAGE	Profondeur toit Dogger		Epaisseur productive m.		Transmissivité D.m		Salinité g/l		Température de fond		Débit artésien m ³ /h		Pression artésienne kg/cm ²	
	APS	Réalité	APS	Réalité	APS	Réalité	APS	Réalité	APS	Réalité	APS	Réalité	APS	Réalité
Production	1710 (vert.)	1723 (vert.)	30	30	30	113.8	10 à 15	26,1	72	78,8	130	160	6	5,4
Injection	1710 (vert.)	1732 (vert.)	30	30	30	110.8	10 à 15	26,4		78,4	130	150	6	5,4

APS selon dossier de demande d'autorisation de recherche géothermique (décret 78-498 du 28 mars 1978)

Rabattement prévu pour 200 m³/h dans l'APS = 150 m.

- une pompe d'injection Guinard, type ND-12-10-2S de 200 m³/h et une pompe d'injection de secours de caractéristiques semblables.
Ces deux pompes initialement montées en parallèle, sont actuellement en série.
Le variateur est de marque Reliance.
- deux échangeurs Vicarb, à plaques titane, type V180CH, 245 plaques, surface de 437 m².
Ces deux échangeurs étaient conçus pour des pressions de service élevées (jusqu'à 16 bars), en raison des premières mesures de point de bulle, faisant apparaître des valeurs élevées.
- des canalisations en résine Epoxy renforcée fibre de verre, de diamètre 200 mm, dans le local technique (PN = 25 bars à l'exhaure et PN = 40 bars à l'injection) et entre le local technique et les puits.
- des vannes, en fonte, de marque Hawlé.
- 2 filtres à tamis, de marque Philippe (type EAP 60 A250), équipés ici de tamis à grosses mailles, en amont des échangeurs
- un système de filtration, en corps de fonte, en amont de l'injection, prévu pour grosses particules (tamis 8/10^o)
- un skid de lubrification Guinard pour la pompe d'exhaure (pression d'injection d'hyposulfite = 25 bars, 2 = 150 l/h environ)

On note que :

- le réseau ne permet pas de court-circuiter les échangeurs, et de passer directement du forage de production à l'injection (manoeuvre pouvant être appliquée à la suite de traitement par dégorgements du puits) ;
- les caves de têtes de puits sont entièrement enterrées et d'accès exigü en temps normal (la dalle de béton qui les recouvre peut être ôtée pour interventions sur les puits).
En cas de défaillance des systèmes de sécurité et des vannes automatiques de fermeture des puits, il s'avèrera difficile d'aller manoeuvrer les vannes manuelles ;
- le local technique est entièrement au dessous du niveau du sol. Il est cloisonné en trois parties : local électrique, local "hydraulique" et local de commande, le plus près de l'entrée.
Si des fuites importantes se produisent et si les systèmes de sécurité par défaut de pression ne fonctionnent pas, le local, n'ayant pas d'exutoire, sera inondé.
Il existe des pompes de relevage, mais de débit inférieur au débit artésien (environ 50 m³/h avec colonne de production en place dans le forage).
- il n'y a pas de redémarrage automatique de la boucle après un arrêt, même très court.
Le redémarrage impose actuellement une purge préalable.
- il n'y a pas de système anti-bélier
- la résistance de la canalisation d'injection (PN = 40 bars) a été choisie, à juste titre, de façon sécuritaire. Si, à la mise en service, la pression d'injection était de 12 bars seulement, elle a, par la suite, atteint ou dépassé 22 bars (cf. chapitre 6).

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

Le fonctionnement de la boucle géothermale de Sucy en Brie s'avère largement satisfaisant, par son taux de marche élevé et par l'énergie géothermale produite, surtout à partir de la troisième saison.

5.1. - Mise en service

La mise en service de la boucle géothermale a eu lieu en janvier 1985, soit 9 mois seulement après la réalisation des travaux de forage.

Compte-tenu du temps nécessaire pour la confirmation des essais de débit, du choix d'un modèle de pompe et de son variateur, la commande et l'approvisionnement des divers matériels, la réalisation des travaux de surface et leur réception, il s'agit d'un délai court.

5.2. - Taux de disponibilité

Il existe un relevé régulier, journalier, des paramètres de fonctionnement depuis décembre 1985. Les heures de fonctionnement de la pompe d'exhaure font partie des valeurs relevées, permettant de calculer le taux de disponibilité de la boucle géothermale.

(Rappelons qu'ici, il n'y a pas, en principe, de fonctionnement même temporaire en artésien).

Les relevés qui nous ont été fournis montrent (cf. figure 5) :

- des valeurs mensuelles élevées
- une bonne régularité de fonctionnement

Pour 1986, la disponibilité moyenne est de 96,5 % et pour le premier semestre 1987, elle est de 94,7 %.

Ces performances traduisent l'absence d'incidents importants ou répétitifs.

D'autre part, ici, tout arrêt même pour une cause mineure (telle que coupure électrique) oblige à un redémarrage manuel, procédure pouvant laisser s'écouler plusieurs heures et baissant ainsi légèrement le taux de disponibilité, sans qu'il n'y ait panne réelle.

5.3. - Principaux incidents de fonctionnement

Les principaux incidents connus sont les suivants :

Pompe d'exhaure

- . arbre cassé en décembre 84 (mise en route). Il s'agissait d'un arbre en acier ordinaire + teflon "auto-lubrifié". Un contentieux fut ouvert avec la société Guinard.

- . En octobre 85, remontée de la pompe demandée par l'expert. Redescente sans reconditionnement de l'arbre et rupture quelques jours après. Un arrachage de morceaux de teflon aurait bouché les lumières permettant la lubrification.
Remplacement par un arbre en inox avec portées en fibre de carbone.
On ne signale pas d'incident sur l'arbre depuis octobre 85.
On ne signale pas d'incident sur la partie hydraulique (hors arbre) ni sur le moteur en surface, en dehors de travaux de maintenance (notamment sur le skid de lubrification)

Pompe d'injection

- . Une remise en état des pompes Guinard a été effectuée en juin et juillet 86 (remplacement de garnitures mécaniques, entretien), ainsi qu'un remplacement des manchons d'accouplement en mars 87.

Vannes Hawlé

- . Ces vannes en fonte se sont corrodées et percées. Trois ont dû être changées au bout d'un an et demi environ. Le matériau est mal adapté au fluide géothermal.
Les fuites qui se sont produites ont été rapidement maîtrisées et n'ont pas généré d'inondation du local, même partielle, ni de dégâts apparents sur les matériels du local.

Echangeurs

- . Lors d'un contrôle mensuel de l'eau géothermique, il a été constaté une augmentation anormale de la salinité de l'eau, traduisant une fuite entre circuits géothermal et géothermique à travers les plaques d'un des deux échangeurs.
Après démontage, il a été constaté (février 87, soit deux ans après la mise en route) :
 - . une déformation de certaines plaques,
 - . l'absence d'encrassement : les plaques étaient propres ou avec un très léger dépôt.L'hypothèse d'un coup de bélier a été avancée. Il pourrait également s'agir de microfissures (défaut de fabrication ?).

Têtes de puits et divers

- . Des fuites d'azote ont été constatées sur les tuyaux souples de liaison, remplacés depuis en juin 87 par une installation fixe (puits d'exhaure)
- . Fuites sur le joint-tore de la casing-head (puits d'injection) et remplacement de ce dernier.
- . Micro-coupures, plus fréquentes au début, et d'autant plus gênantes que le redémarrage n'est pas automatique.
- . Interventions sur les pompes de relevage du local tête de puits (février 86, février 87) et de la centrale géothermique (mai 86).

Par ailleurs, on ne signale pas d'encrassement des échangeurs, ni de colmatage des filtres, ni de défaut de fonctionnement de la pompe de réinjection (hormis le remplacement du manchon d'accouplement), ni de corrosion décelée sur les canalisations en acier, y compris sur les coudes et les piquages.

Les arrêts sont en général courts (une à deux heures) et il y a eu très peu d'arrêts de quelques jours, comme l'atteste l'excellent taux de marche.

Les arrêts les plus longs correspondent :

- . à la remontée de pompe en octobre 85
- . à l'auscultation du puits d'injection à l'été 87
- . à l'intervention sur l'échangeur n° 2 en février 87.

Par ailleurs, l'exploitation a connu d'autres difficultés, non sur les matériels mais sur les puits (baisse d'injectivité et de débit exploitable) (cf. chapitre 6).

6 - EXAMEN DE L'EVOLUTION DES DEBITS

Le débit nominal retenu dans le contrat SAF est de $Q_0 = 192 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le contrat d'exploitation ne comporte pas d'engagement ni sur le débit géothermal ni sur une quantité de MWh d'énergie géothermale mais uniquement sur un taux de couverture :

- . 65 % (logements équipés de convecteurs)
- . 72 % (logements équipés de radiateurs)
- . 80 % (logements équipés de panneaux de sol)

Une dérive des performances du doublet a été constatée peu après la mise en service (augmentation de la pression d'injection et diminution du débit).

Mesures disponibles

Le débit, la pression d'injection, les températures d'exhaure et d'injection sont suivis régulièrement (relevés journaliers depuis décembre 1985 ; les valeurs qui nous ont été transmises allaient jusqu'en juin 87).

On dispose en outre de mesures épisodiques de la pression dans l'annulaire de la chambre de production, valeurs relevées lors des contrôles de fonctionnement de la boucle par Géophase.

Enfin, un contrôle Véritas a eu lieu en septembre 1987.

6.1. - Evolution du puits d'injection

On note une perte d'injectivité continue et importante depuis la mise en service, résumée par les couples de valeurs ci-dessous, tirés des relevés journaliers de la station et complétés par les valeurs relevées par Géophase (cf. tableau 2 et figure 6).

Remarque : une dérive du premier compteur (électromécanique Khrono) est possible. Le compteur a été remplacé par un Somesca à induction.

La perte d'injectivité apparaît au printemps 85, soit après un trimestre de fonctionnement. Elle se serait accrue après l'été 85 (fonctionnement à débit réduit, d'environ $60 \text{ m}^3/\text{h}$).

EVOLUTION DU DEBIT GEOTHERMAL ET DE LA PRESSION D'INJECTION

Date	Débit Q - m ³ /h	Pression P d'injection (bar)	Q/P m ³ /h/bar **
Janvier 1985	230	12	19,2
Janvier 1986	180	18,8	9,6
Octobre 1986*	158	21	7,5
Décembre 1986	170	20,8	8,2
Janvier 1987*	166	21	7,9
Février 1987	168	21,2	7,9
Avril 1987	162	20,8	7,8
Septembre 1987*	157	20,9	7,5

* Valeurs relevées lors du suivi Géophase

** Rapport brut, sans correction de température - viscosité

La puissance de la pompe d'injection ne permet alors d'assurer qu'un débit de 170 à 180 m³/h, pour une pression d'injection de près de 19 bars.

En augmentant la pression à l'aspiration de la pompe d'injection (c'est-à-dire en augmentant la pression d'exhaure) le débit est porté à 190 m³/h en février 86.

Après l'été 86 (marche à Q = 65 m³/h), une nouvelle perte d'injectivité est constatée et le débit ne peut dépasser 170 m³/h, pour une pression d'injection de 20,8 bars.

A l'été 87, un débit élevé fut volontairement conservé (environ 130 m³/h).

Il n'a pas été constaté de nouvelle dégradation. Au contraire, l'exploitant signale récemment une légère amélioration (chiffres non communiqués).

La courbe d'évolution des caractéristiques du puits injecteur, tracée à partir des essais en boucle réalisés par Géophase visualise également la dégradation (modérée) du puits.

6.2. - Evolution du puits d'exhaure

Le puits de production apparaît sensiblement stable : on note très peu de différences entre l'indice de productivité de septembre 87 (deux ans et demi de fonctionnement environ) et la caractéristique nominale (près de 28 m³/h/bar).

Il y a cependant de légères fluctuations. Ainsi, les mesures de janvier 1987 font apparaître une très légère dégradation, non confirmée par la suite.

D'autre part, Géophase semble admettre une diminution de la pression statique de gisement : 7,9 bars le 6 octobre 1986 ; 6,5 bars le 22 septembre 1987 (nota : la première valeur est une extrapolation et ne correspond pas à une mesure vannes fermées).

La mesure Véritas du 22 septembre 1987 donne 6,2 bars dans l'annulaire à débit nul.

7 - ETAT DES FORAGES

L'état des forages est connu indirectement par le suivi de certains paramètres en surface (pressions, débit, températures, puissances électriques) et quelques analyses chimiques.

Une auscultation directe par diagraphies a été réalisée par Géophase en juin 1987 sur le puits d'injection.

7.1. - Auscultation du puits d'injection

Il a été réalisé :

- . un diamètre du découvert (caliper 3 bras)
- . un contrôle de fond
- . un diamètre de précision (caliper 40 bras) du tubage 7"

Les diagraphies ont montré :

- . une incrustation légère du tubage 7", augmentant les pertes de charge. Les dépôts sont de l'ordre de 1,5 mm et ont tendance à croître à la base du casing.
- . un colmatage pelliculaire des parois du découvert (jusqu'à 12 mm)
- . l'absence de caves dans le découvert
- . l'absence de dépôts en fond de puits

Elles ont aussi précisé la coupe technique, insuffisamment décrite dans le rapport de fin de travaux.

Il semble que des tubages 29 et 23 lbs/ft soient intercalés parmi les éléments en 26 lbs/ft, majoritaires, la disposition créant une légère perte de charge supplémentaire.

Les écarts réels de diamètre semblent dépasser la tolérance acceptée par le fabricant de tubes.

En résumé, les diagraphies ont révélé un puits d'injection sans dégradation importante.

Les pertes de charge dues à la légère incrustation du 7" et aux variations de diamètre de celui-ci n'expliquent pas la perte importante constatée d'injectivité. Il faudrait admettre une rugosité beaucoup plus forte et/ou un endommagement des zones productives.

7.2. - Auscultation du puits de production

Les bonnes performances du puits et l'absence de dégradation notable n'ont pas rendu nécessaire jusqu'ici une auscultation du puits d'exhaure.

S'il ne semble pas y avoir de dépôts notables sur le casing ou de colmatage de l'aquifère, il n'est pas exclu qu'une corrosion, même localisée, existe.

Un contrôle préventif reste souhaitable, d'autant que les aquifères d'eau douce ne sont protégés ici que par un seul tube en acier noir.

8 - EVOLUTION DU CHIMISME DE L'EAU GEOTHERMALE

On dispose ici de très peu d'analyses de l'eau géothermale :

- . prélèvement du 20 avril 1984 sur le forage Sucy 1 (Géotherma)
- . prélèvement du 28 novembre 1985 (IMRG)
- . prélèvement d'octobre 1987 (Géophase)

On constate :

- . une faible teneur en sulfures
- . une diminution de la teneur en sulfures entre l'analyse Géotherma de 1984 (5,4 mg/l) et celle de Géophase d'octobre 1987 (1,9 mg/l)
- . une faible teneur en fer (2,3 mg/l en 1984).

D'autre part, une analyse bactériologique a été menée en 1987 et montre une activité bactérienne très faible (mais les numérations effectuées ne sont pas forcément représentatives du développement des colonies sur les casings). Il serait souhaitable qu'un contrôle physico-chimique de l'eau soit poursuivi.

Le point de bulle remesuré en octobre 1986 était de 9,6 bars (à 75°C), le GLR étant de 14 % alors que la valeur annoncée en fin de foration était de 6,9 bars (à 78°C, sur le puits d'injection).

La méthode utilisée (chambre PVT) est d'utilisation délicate.

9 - REHABILITATION ET ESSAI D'ADDITIF

L'endommagement constaté sur le puits d'injection ne justifiait pas de réaliser une réhabilitation.

Aucune action n'a donc été menée.

Le bon comportement du puits de production n'a pas rendu utile, également, un curage.

Par ailleurs, il n'y a pas eu d'essais d'additifs (inhibiteur de corrosion, inhibiteur de croissance cristalline,...).

10 - ENERGIE GEOTHERMALE PRODUITE

La fourniture d'énergie géothermale a été de 24 100 MWh pour la saison 86-87.

La figure 8 retrace l'évolution brute des fournitures mensuelles d'énergie, à partir des relevés journaliers qui nous ont été fournis.

On constate :

- . que la baisse du débit exploitable (dégradation de l'injectivité) a été compensée par une amélioration des performances sur l'utilisation de la boucle (se reporter au rapport "surface" de l'audit).

11 - CONSOMMATION ELECTRIQUE DES POMPES

Nous ne disposons pas de comptage séparé de l'énergie électrique consommée par les pompes d'exhaure et d'injection.

Le suivi de ce paramètre permettrait de mettre en évidence une augmentation du rabattement, ou de suivre une dégradation du puits d'injection, par exemple.

D'autre part, il a été noté par Géophase une différence sensible entre les mesures (intensité, fréquence) lues sur les cadrans en centrale et celles mesurées.

Les mesures de puissance effectuées par Véritas le 22 septembre 1987 sont présentées au tableau 3.

Nous ne disposons pas de mesures similaires faites en début d'exploitation et ne pouvons faire de comparaison.

MESURES DE PUISSANCE ABSORBEE PAR LES POMPES GEOTHERMALES

Véritas - 22 septembre 1987

:	:	:	:	:	:	:
:Débit (m³/h)	: 46,7	: 81,4	: 108,2	: 121,8	: 157,8	:
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
:Puissance	:	:	:	:	:	:
:absorbée par	: 5,6	: 27,8	: 62,9	: 87,1	: 123,5	:
:la pompe	:	:	:	:	:	:
:d'exhaure	:	:	:	:	:	:
:(kW)	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
:Puissance	: 0,7	: 0,6	: 1,2	: 1,2	: 34,9	:
:absorbée par	:	:	:	:	:	:
:la pompe	:	:	:	:	:	:
:d'injection	:	:	:	:	:	:
:(kW)	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
:Total (kW)	: 6,3	: 28,4	: 64,1	: 88,3	: 158,4	:
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:

La consommation globale du local géothermie est reproduite au tableau 4.

La consommation d'électricité, au local, ramenée au MWh vendu (cf. figure 9) présente les caractéristiques suivantes :

- . ratio très élevé en été et plus faible en hiver. Ceci traduit simplement le fait qu'en été on maintient un débit élevé avec un faible épuisement des calories (retour à température élevée) correspondant à des besoins énergétiques réduits (eau chaude sanitaire).

Cette "surconsommation" d'électricité en été n'a qu'un impact économique réduit car les tarifs sont alors plus bas.

Cette attitude est surtout dictée par le fait qu'une certaine régularité du débit minimise les risques d'incidents sur la boucle géothermale.

- . augmentation des ratios de périodes d'été.

Ceci correspond au fait qu'en été, les débits (donc, la consommation électrique des pompes) ont été augmentés (été 1987, débit de l'ordre de 130 m³/h pour 65 m³/h à l'été 1986)

- . augmentation des ratios de période d'hiver.

Ce point, plus grave, correspond à un endommagement (puits d'injection seul ?). Il pourrait correspondre également à une moins bonne utilisation du débit géothermal (ce point sera examiné dans l'audit "surface") ou à une augmentation de consommation des pompes géothermiques.

12 - COMPTE D'EXPLOITATION DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

Actuellement, il existe :

- . un contrat de conduite et d'entretien des installations de géothermie entre SOGESUB et CGEC.

Coût : 290 kF/an (valeur décembre 1982), auquel il faut ajouter environ 30 kF/an pour les fournitures (hyposulfite, graisse,...)

- . un contrat de gros entretien (garantie totale) du groupe d'exhaure (pompe, moteur, arbre, colonne, skid de lubrification) entre SOGESUB et GUINARD.

Coût : 400 kF/an - durée de 4 ans, reconductible, à partir d'octobre 1986.

Pour les remontées de pompe, nécessitant une intervention sur puits, Guinard fait appel à Géophase.

- . une convention de garantie portant sur le doublet de forages, les installations géothermales de surface et une partie du réseau géothermique.

Cette convention est souscrite entre la SOGESUB et la S.A.F.

Il n'existe pas de contrat de suivi de la boucle géothermale (analyses chimiques de l'eau géothermale, mesures physiques,...) mais des prestations "au coup par coup" effectuées par Géophase.

SOGESUB

RELEVÉ DES CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE

	<u>KWH FACTURES</u>
DECEMBRE 1984	69.920
JANVIER 1985	69.920
FEVRIER 1985	69.920
MARS 1985	70.005
AVRIL	
à 1985	285.374
JUILLET	
AOUT 1985	68.379
SEPTEMBRE 1985	47.650
OCTOBRE 1985	42.936
NOVEMBRE 1985	145.628
DECEMBRE 1985	133.101
JANVIER 1986	158.427
FEVRIER 1986	158.048
MARS 1986	140.798
AVRIL 1986	171.365
MAI 1986	60.518
JUIN 1986	39.595
JUILLET 1986	43.469
AOUT 1986	45.964
SEPTEMBRE 1986	54.500
OCTOBRE 1986	95.685
NOVEMBRE 1986	115.786
DECEMBRE 1986	168.014
JANVIER 1987	162.779
FEVRIER 1987	137.493
MARS 1987	142.193
AVRIL 1987	121.871
MAI 1987	51.049
JUIN 1987	45.911
JUILLET 1987	60.417
AOUT 1987	49.833
SEPTEMBRE 1987	51.304
OCTOBRE 1987	90.755
NOVEMBRE 1987	119.496
DECEMBRE 1987	185.193
JANVIER 1988	120.256
FEVRIER 1988	114.663

Tableau 4

Comptes d'exploitation prévisionnels

Deux scénarii (optimiste et pessimiste) seront examinés.

Chacun d'eux tente une approche sur :

- . l'évolution des débits géothermaux, qui vont conditionner l'appoint nécessaire
- . les dépenses propres aux forages.

Il s'agit de scénario, et non d'une prévision formelle, l'état des connaissances ne permettant guère des évaluations fiables à moyen et long terme. De même, les diverses techniques d'amélioration ou de réhabilitation du doublet sont encore en phase de test.

HYPOTHESE OPTIMISTE

- . Décroissance très lente des débits, correspondant à une altération de surface des tubages et à la formation de légers dépôts : 190 m³/h en 1988/89 ; 170 m³/h en 2000
- . pas de nécessité de réhabiliter les forages avant l'an 2000, ni de les rechemiser. Par contre, un nettoyage du forage d'injection sera réalisé avant traitement en continu par inhibiteur.
- . diagraphies de contrôle des tubages tous les 3 ans environ, d'autant plus utiles que les nappes d'eau douce ne sont protégées ici que par un seul tubage. Sur le puits de production, la diagraphie est supposée faite lors d'une remontée de pompe
- . suivi des paramètres physiques et chimiques d'exploitation de la boucle
- . disponibilité moyenne de 97 %
- . un traitement anti-corrosion et bactéricide sera appliqué, au moins à titre préventif, au bout d'une durée (arbitraire) de 4 ans.
On considère que l'injection se fera ici au niveau de la pompe d'exhaure et non en ligne de fond. Les sélections et dosages des produits appropriés n'étant pas réalisés, le coût est approximatif
- . en première approximation, on considère que la consommation électrique annuelle des pompes est sensiblement constante
- . on considère que le contrat gros entretien -renouvellement de la pompe d'exhaure, arbre et moteur est maintenu
- . les renouvellements prévisionnels des principaux matériels sont :
 - pompe d'exhaure : cf. contrat Guinard
 - pompe injection : 250 kF tous les 6 ans
 - échangeurs titane : 1 500 kF tous les 15 ans
 - réseau géothermal et têtes de puits : 700 kF tous les 15 ans
 - matériel électrique : 800 kF tous les 15 ans

COMPTES D'EXPLOITATION PREVISIONNELS SUCY EN BRIE
HYPOTHESE OPTIMISTE

Coûts en kF HT

Année	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/ 2000
Débit géothermal (m³/h)	190	190	190	190	180	180	180	180	170	170	170	170
P ₁ Electricité MWh	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
P ₂ . Dépenses exploitant boucle géothermale*	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
. Suivi sous-sol	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
. Produits inhibiteurs					100	100	100	100	100	100	100	100
P ₃ . Pompe d'exhaure	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
. Pompe injection				250						250		
. Echangeurs												1500
. Matériel électrique												800
. Canalisations géothermales + têtes de puits												700
. Matériel d'injection d'inhibiteurs					80						80	
. Diagraphies		2x70			2x70		2x70				2x70	
. Réhabilitation avec SAF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sans SAF					560							
sans SAF					800							
. Réfection tubages avec SAF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sans SAF												

Imprévus (3 % P₃)

Assurances + frais gestion (p.m.)

* Inclut ici le réseau géothermique du local géothermie

HYPOTHESE PESSIMISTE

- . décroissance plus rapide des débits, due à la formation de dépôts (en partie expliquée par une activité bactérienne en développement), sur les tubages et le découvert.

Des interférences (avec Champigny notamment) ou des baisses de pression de l'aquifère peuvent s'amplifier, d'où augmentation des rabattements.

Les lois de décroissance des débits n'étant pas connues, les valeurs mentionnées ici sont hypothétiques.

- . corrosion plus accrue. On considère que les essais de traitement par inhibiteurs sont mal adaptés ou inefficaces à la longue, ou interdits parce que toxiques, etc. et qu'ils ne sont pas poursuivis
- . vieillissement plus rapide des divers matériels
- . augmentation des pannes. Disponibilité tombant à 92 %.
- . en première approximation, on considère constante la consommation électrique des pompes, les moteurs conservent le même régime : à une baisse de débit correspond une augmentation des pertes de charge
- . diagraphies de contrôle de tubages tous les 3 ans environ
- . réhabilitation par moyens mécaniques légers (type Coflexip, etc.). Le coût indiqué ici suppose que ce type d'opérations, non encore réalisé en géothermie, sera devenu classique dans quelques années.
- . un rechemisage est envisagé ici, bien qu'il n'y ait pas de symptôme actuellement. Ni la date ni l'importance de la zone à rechemiser ne sont prévisibles. Arbitrairement, nous avons placé un rechemisage de la chambre de production et du tube 7" d'injection au bout de 12 ans.
- . on suppose que le débit ne décroît plus que lentement après rechemisage en composites
- . on suppose une renégociation du contrat gros entretien - renouvellement de la pompe d'exhaure, suite à une multiplication des incidents.

COMPTES D'EXPLOITATION PREVISIONNELS SUCY EN BRIE
HYPOTHESE PESSIMISTE

Coûts en kF HT

Année	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)	190	175	160	180	165	150	135	175	160	125	125	125	125
P ₁ ' Electricité MWh	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
P ₂ . Dépenses exploitant boucle géothermale*	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
. Suivi sous-sol	100	100	100	100	150	150	150	150	150	150	150	150	150
. Produits inhibiteurs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₃ . Pompe d'exhaure	400	400	400	400	500	500	500	500	500	500	500	500	500
. Pompe injection			250					250					250
. Echangeurs									1500				
. Matériel électrique									800				
. Canalisations géothermales + têtes de puits									700				
. Matériel d'injection d'inhibiteurs			80										
. Diagraphies		2x70			2x70			2x70			2x70		
. Réhabilitation avec SAF			560				560						
sans SAF			2x800				2x800						
. Réfection tubages avec SAF									560				
sans SAF									3000				
Imprévus (3 % P ₃)													
Assurances + frais gestion (p.m.)													

* Inclut ici le réseau géothermique du local géothermie

CONCLUSION

L'exploitation du doublet géothermique de Sucy en Brie se caractérise par un excellent taux de disponibilité, reflétant l'absence d'incidents graves ou répétitifs ainsi que la maîtrise rapide des quelques incidents survenus.

La principale difficulté constatée est une baisse très nette de l'indice d'injectivité, apparue peu après la mise en route et qui s'est poursuivie pendant les deux premières années d'exploitation.

Il semblerait qu'elle soit (provisoirement ?) stabilisée actuellement.

Une auscultation du puits d'injection a révélé un endommagement apparent très faible du découvert, ainsi que des dépôts continus mais peu épais sur le casing.

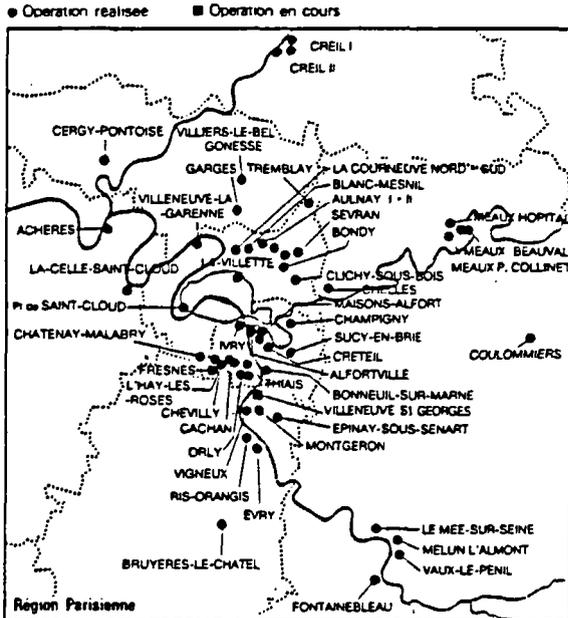
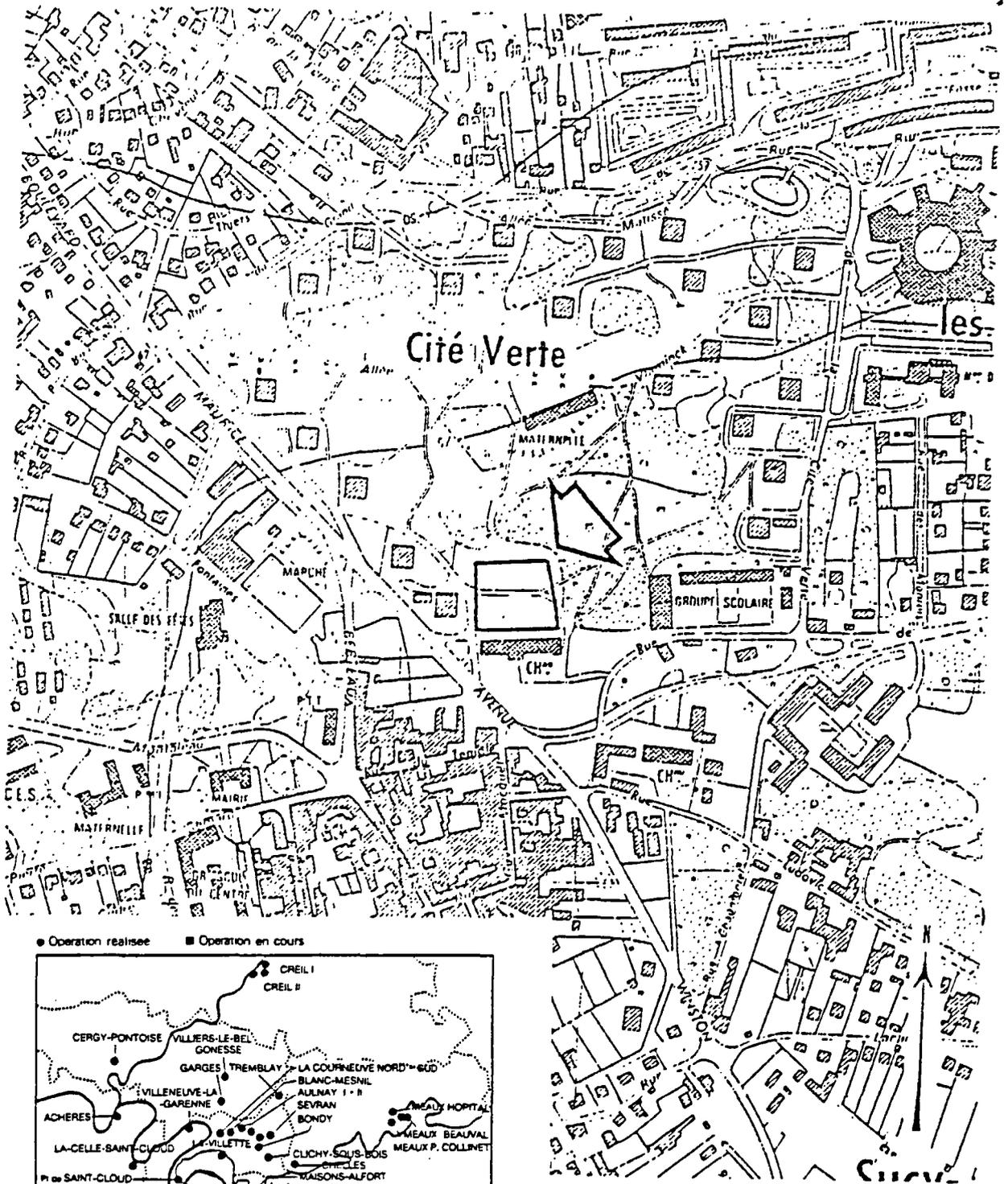
Le puits de production paraît stable. Il n'est cependant pas exclu qu'un accroissement des rabattements apparaisse (dû par exemple à une interférence plus rapide que prévue avec les doublets voisins, tel Champigny ?).

Le fonctionnement technique de la boucle géothermale paraît donc, dans son ensemble, satisfaisant.

Deux scénarios possibles d'évolution des débits ont été imaginés, avec les comptes d'exploitation prévisionnels correspondants.

Ces valeurs sont reprises dans le rapport spécialisé de l'audit consacré à l'analyse financière de l'opération.

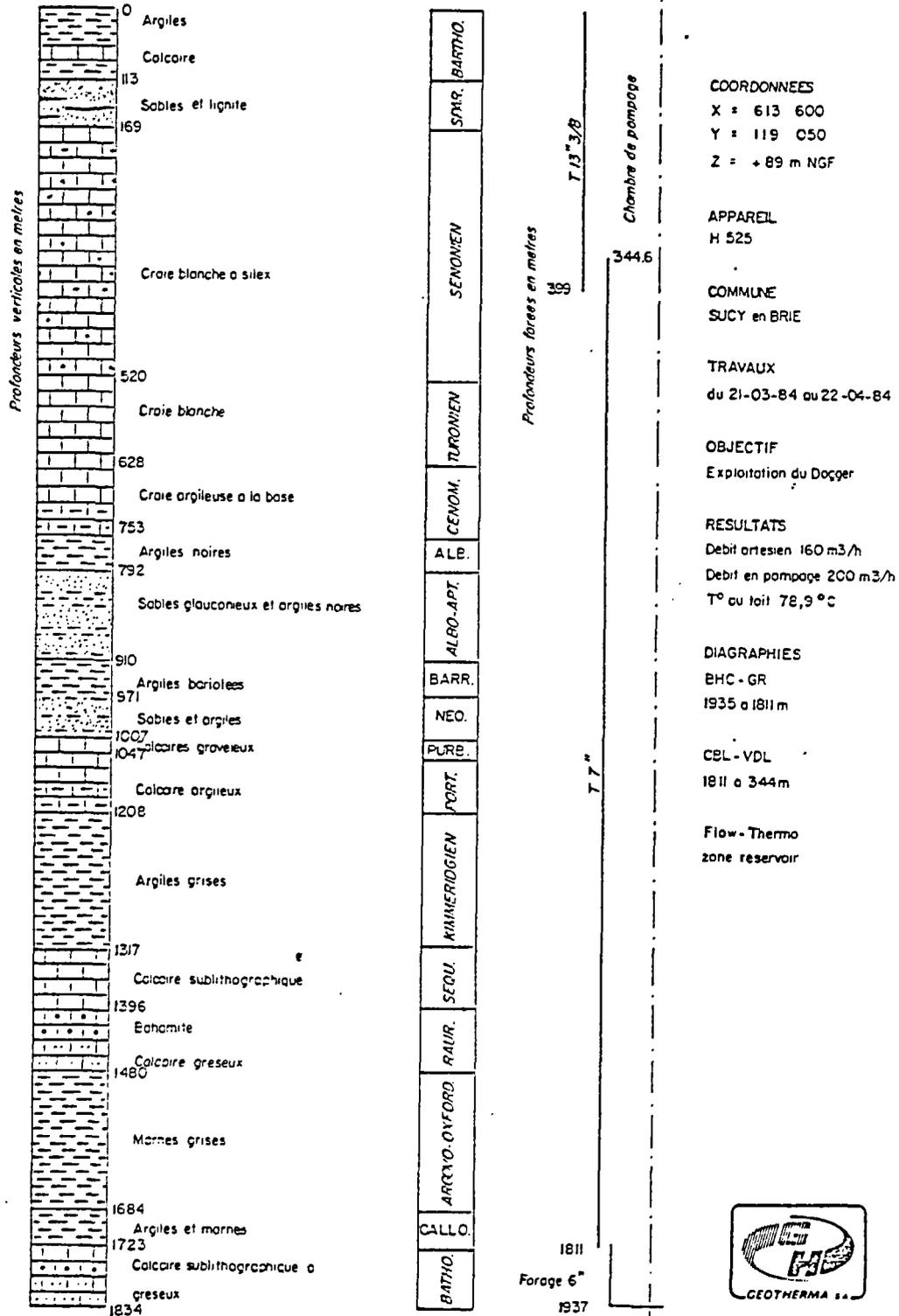
SUCY EN BRIE
Plan de situation
LOCALISATION DE LA PLATE-FORME



SUCY EN BRIE 1

Figure 2

Coupe du forage de production



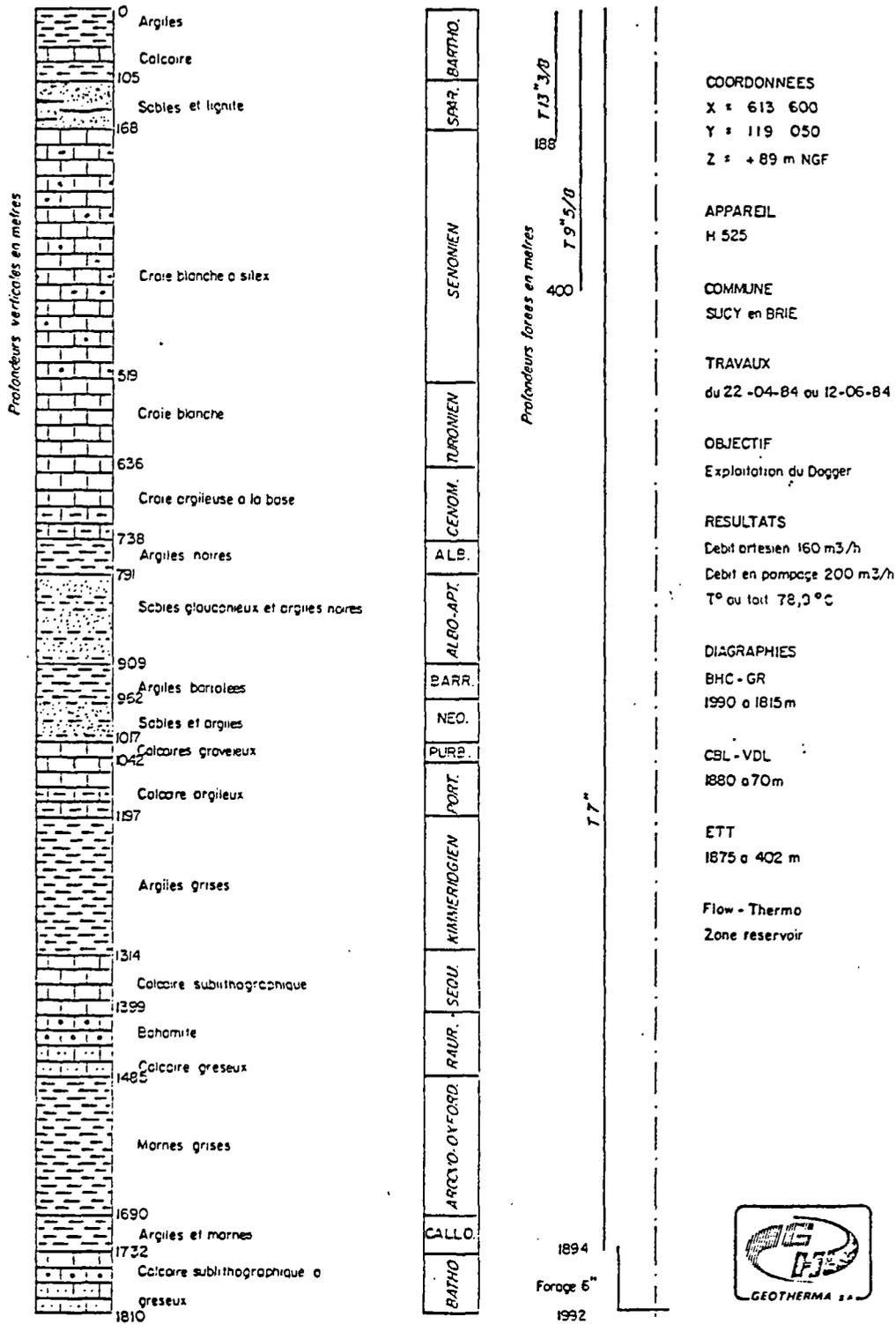
CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES DES TUBAGES ET NATURE

Profondeur		Diamètre		Epaisseur	NATURE DE L'ACIER
Supérieure	Inférieure	(pouces)		mm	
0	399	13" 3/8		8,38	K 55 VE K2 VAM 48 Lb/ft
345	1.811	7"		9,19	K 55 VE K2 VAM 26 Lb/ft
1.811	1.937	(forage) 6"		-	-



SUCY EN BRIE 2.

Coupe du forage d'injection



CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES ET NATURE DES TUBAGES

Profondeur	Diamètre	Epaisseur	NATURE DE L'ACIER
Supérieure	Inférieure	(pouces)	mm
m	m	:	:
0	188	13" 3/8	8,36 : K 55 BTR 48 Lb/ft
0	400	9" 5/8	8,94 : K 55 API 8 RD 36 Lb/ft
0	1.894	7"	9,19 : K 55 26 Lb/ft
1.894	1.992	forage 6"	- : -

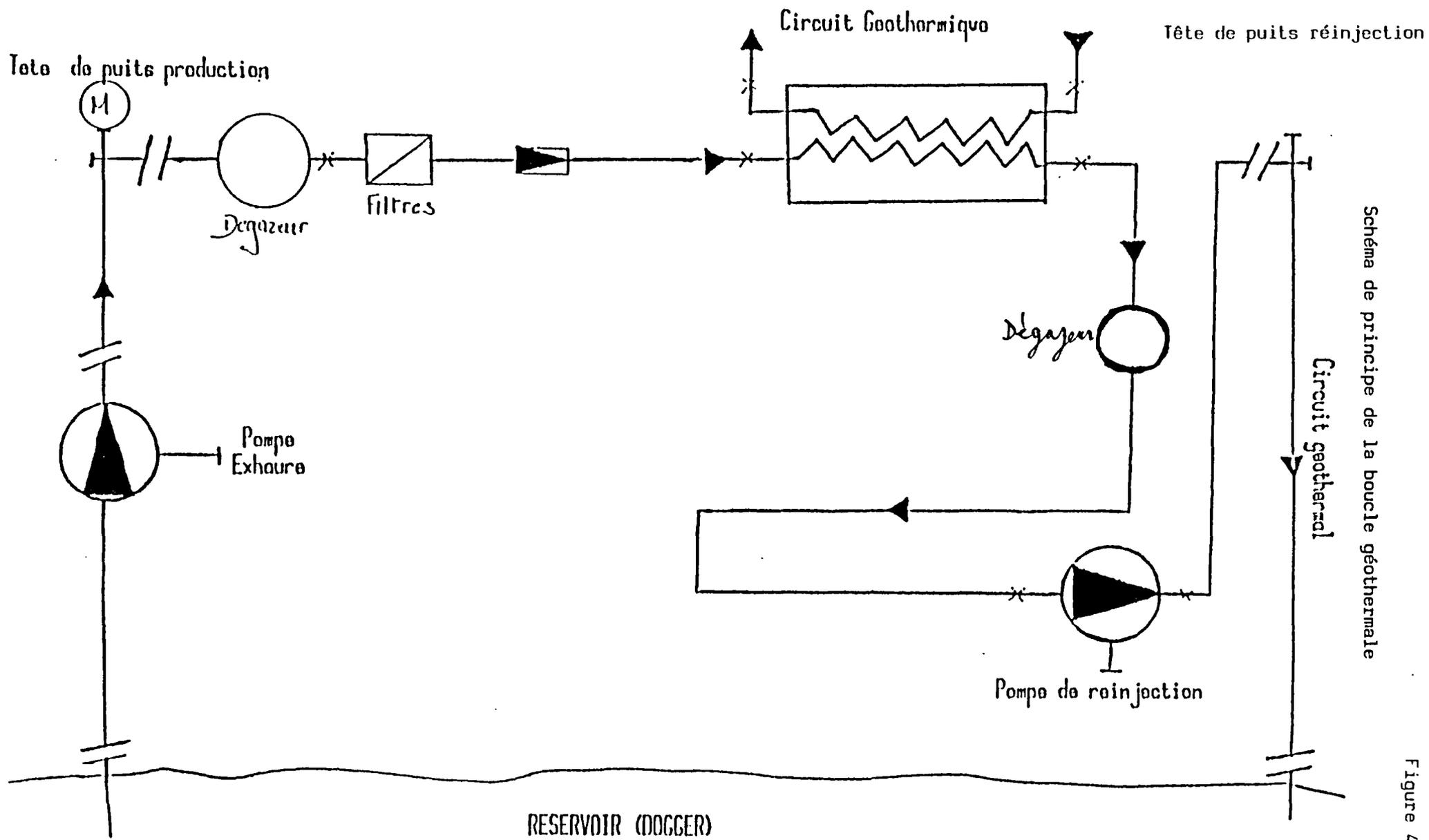


Schéma de principe de la boucle géothermale

Figure 4

SUCY EN BRIE
DISPONIBILITE DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

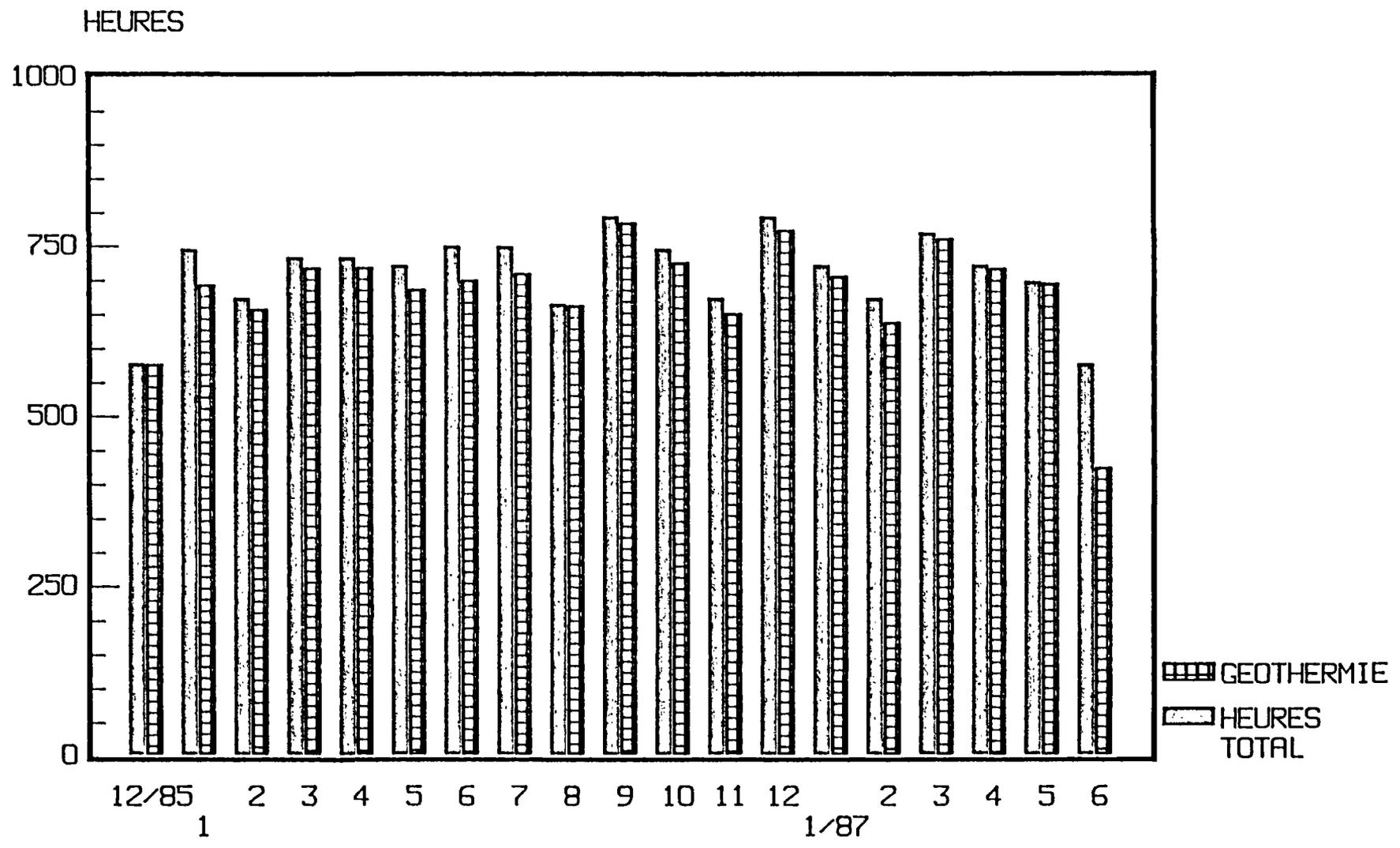


Figure 5

SUCY EN BRIE
EVOLUTION DU DEBIT GEOTHERMAL
ET DE LA PRESSION D'INJECTION

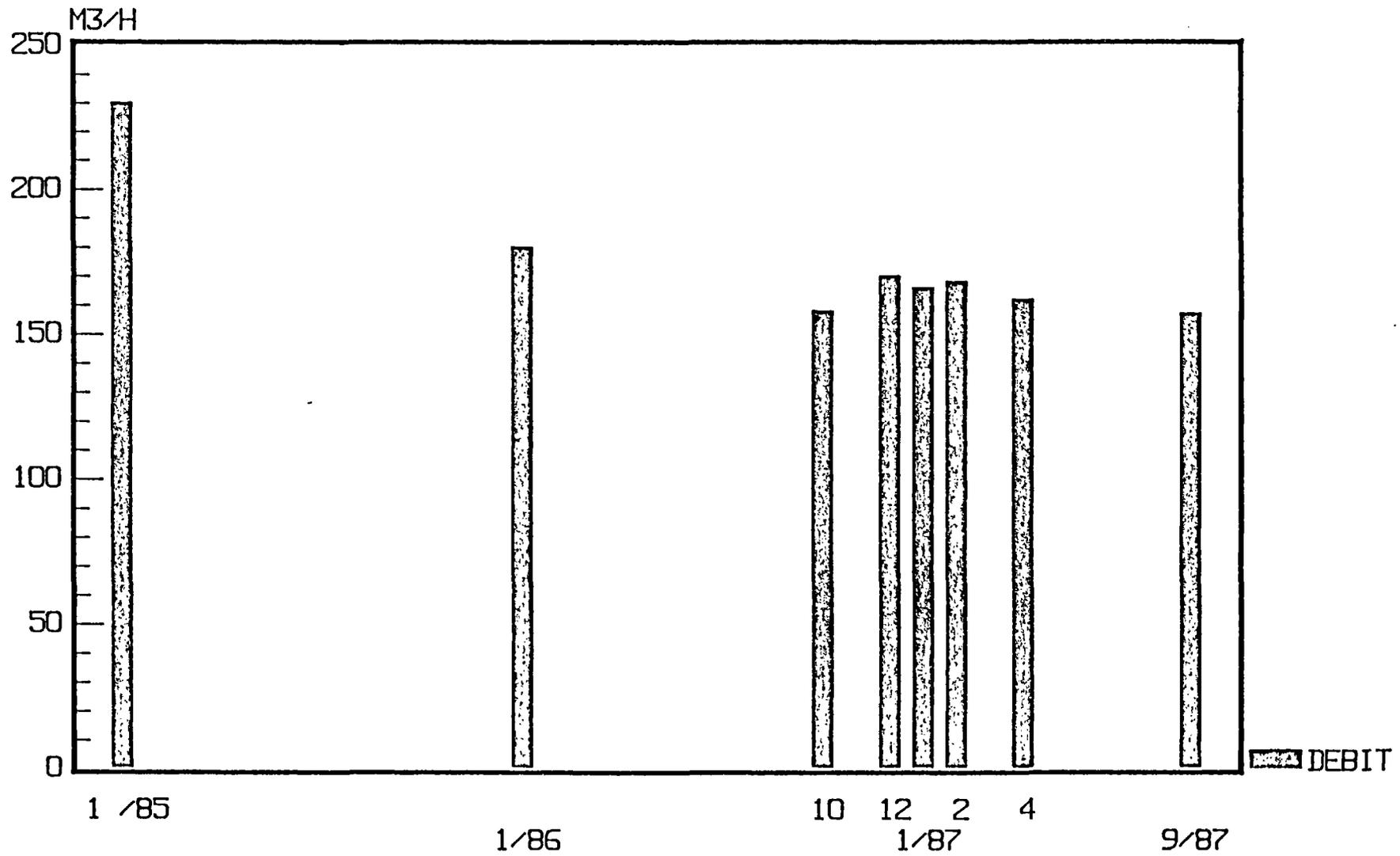


Figure 6

SUCY EN BRIE
 EVOLUTION DU DEBIT GEOTHERMAL
 ET DE LA PRESSION D'INJECTION

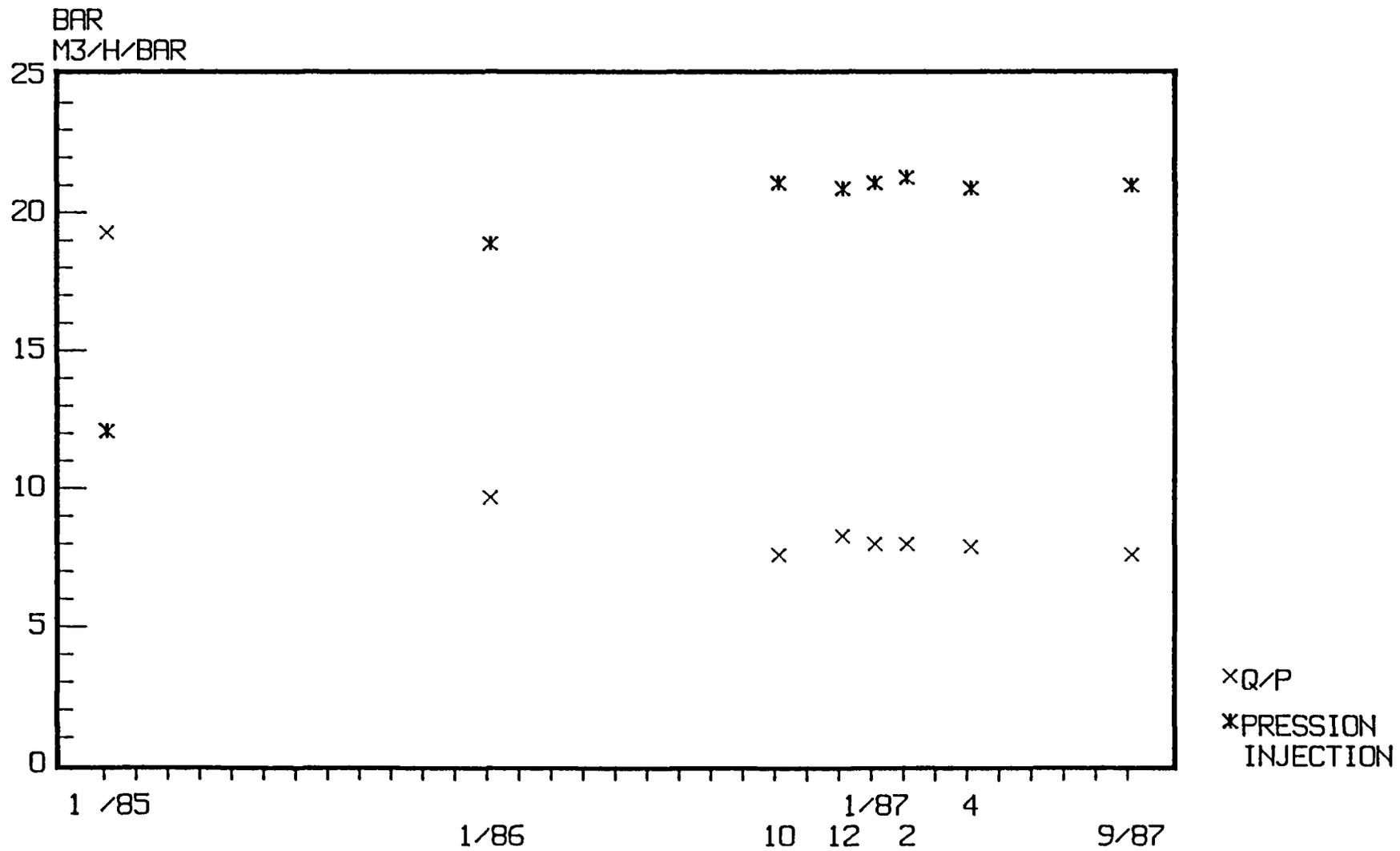
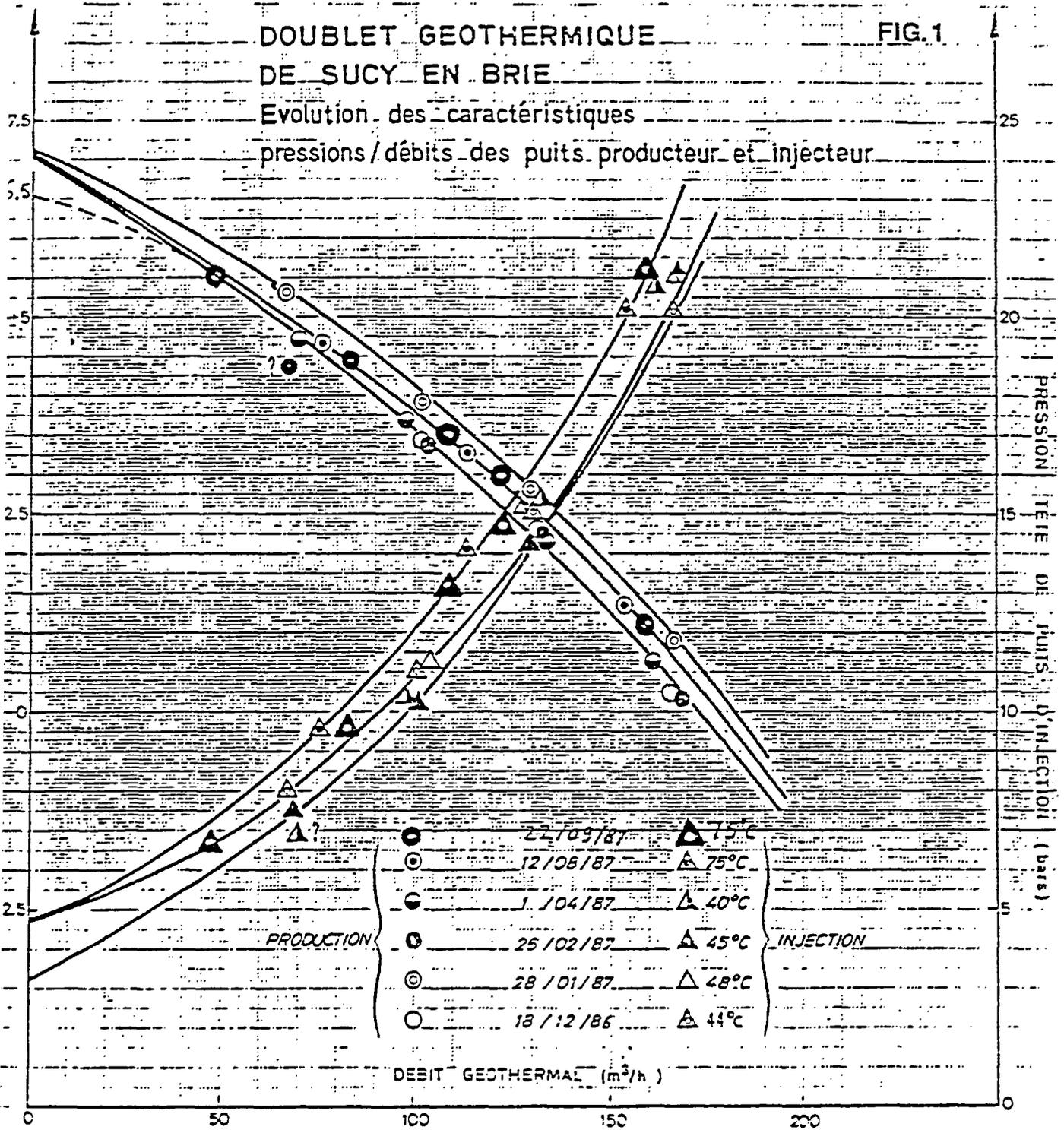


Figure 6bis



Source : Géophase

SUCY EN BRIE
 EVOLUTION DE LA FOURNITURE
 D'ENERGIE GEOTHERMALE

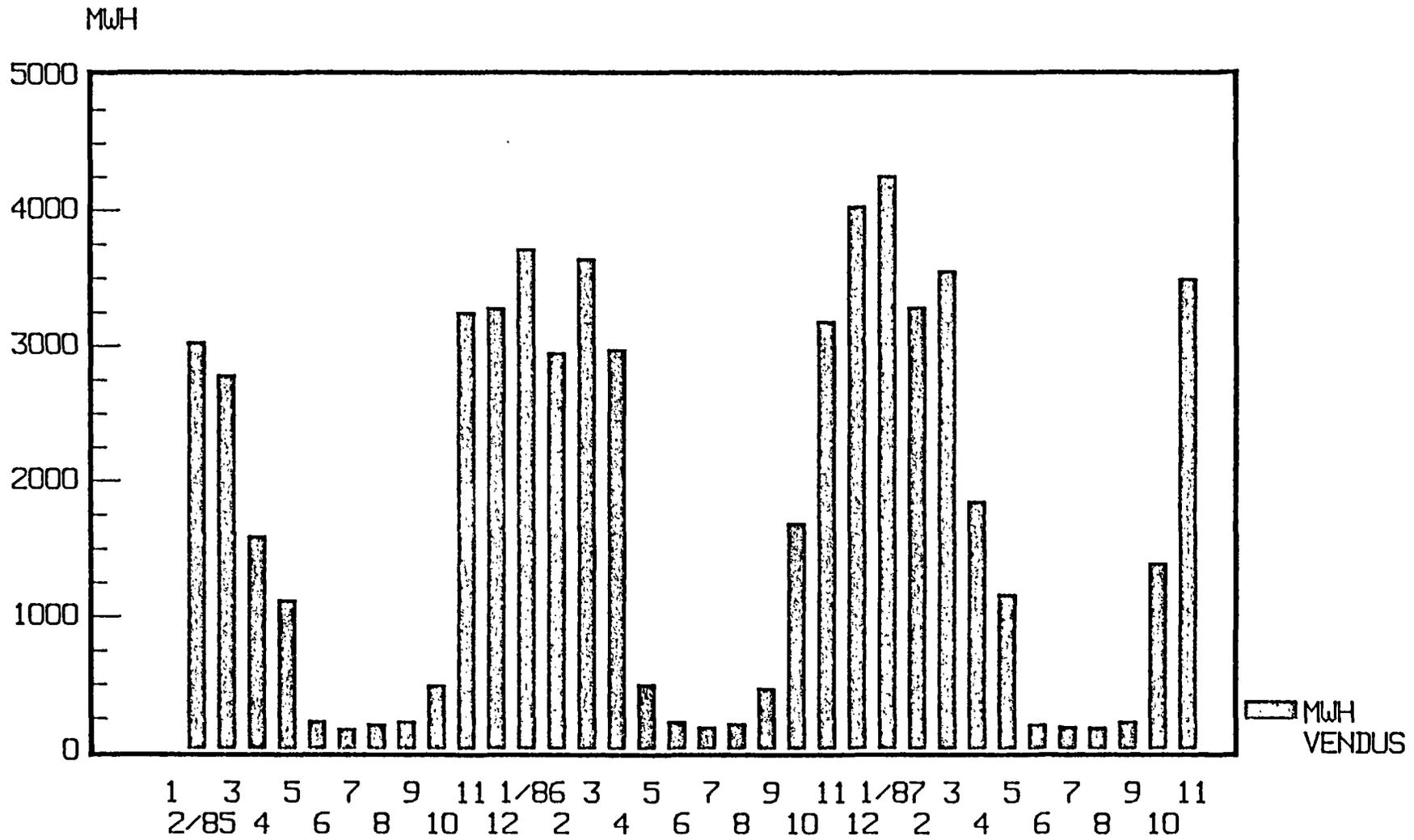


Figure 8

SUCY EN BRIE
 ELECTRICITE CONSOMMEE AU LOCAL PAR
 RAPPORT AUX MWH VENDUS

KWH ELECTRIQUES / MWH GEOTHER

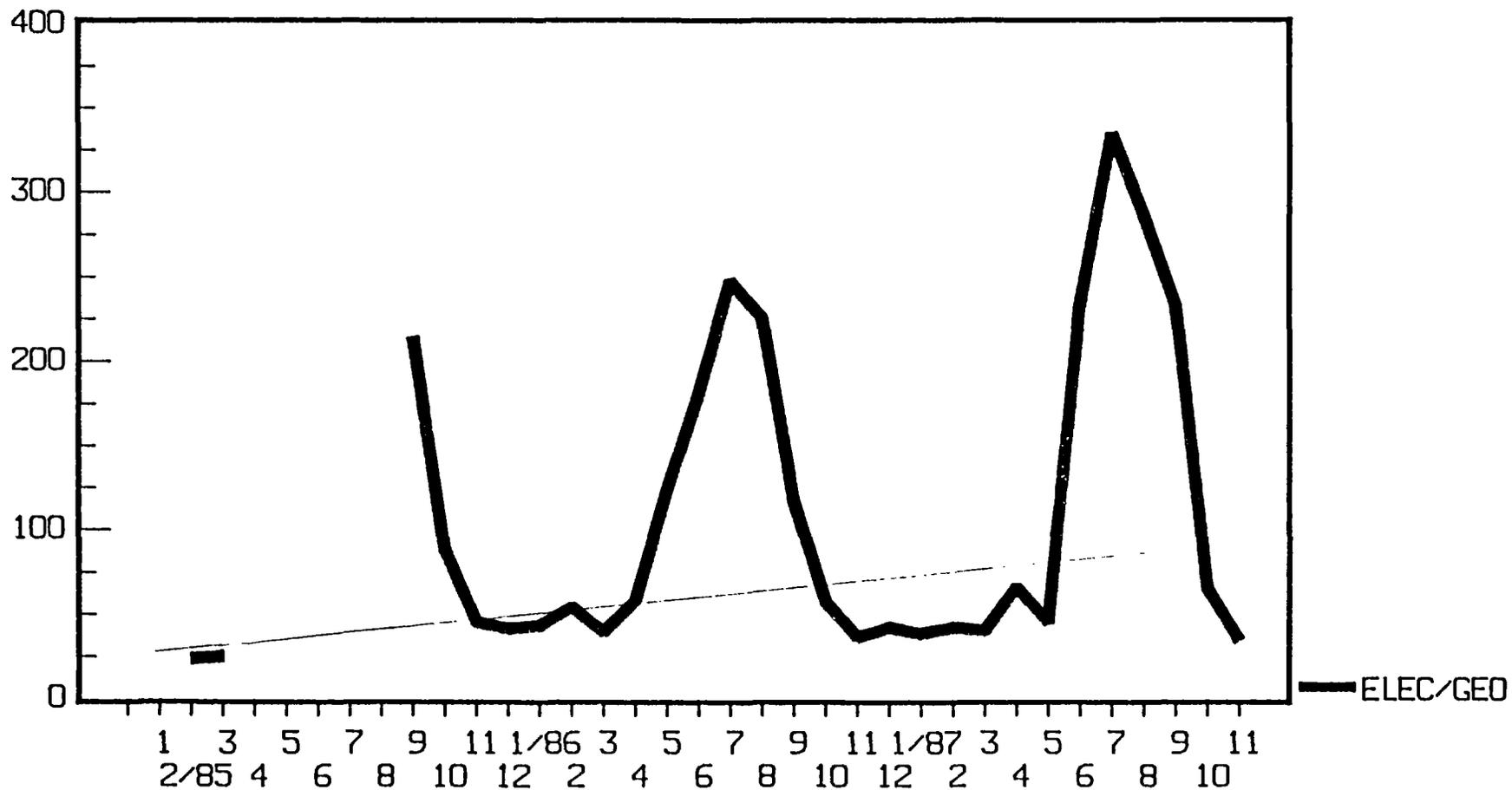


Figure 9

Analyses GEOTHERMA - 20 avril 1984

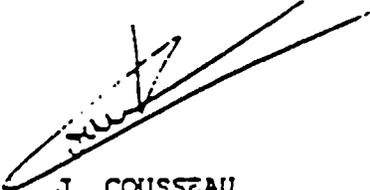
1. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

- Température	:	69°C in situ
- pH à 20°C	:	6,0 in situ
- résistivité à 20°C	:	28 Ω cm ² /cm
- salinité totale	:	26,1 g/l
- <u>cations</u> :		
. TH total	:	455°f
. calcium	:	323°f 1 292 mg/l Ca ⁺⁺
. magnésium	:	132°f 321 mg/l Mg ⁺⁺
. potassium	:	32°f 125 mg/l K ⁺
. sodium	:	1 820°f. 8 370 mg/l Na ⁺
. ammonium	:	12,2°f 44 mg/l NH ₄ ⁺
. fer total	:	2,3 mg/l Fe
. manganèse total	:	1,5 mg/l Mn
. aluminium total	:	< 0,02 mg/l Al
. total cations	:	2 319°f 464 meq.
- <u>Anions</u>		
. TA	:	0°f
. TAC	:	24,6°f (in situ) 300 mg/l HCO ₃
. Chlorures	:	2 259°f 16 040 mg/l Cl ⁻
. sulfates	:	31°f 300 mg/l SO ₄ ⁻⁻

. nitrates	:	0,4 mg/l NO_3^-
. nitrites	:	< 0,02 mg/l NO_2^-
. phosphates	:	< 0,01 mg/l PO_4
. fluorures	:	2,4 mg/l
Soit total anions	:	2 315°f 463 meq.
- <u>Autres éléments</u>		
. silice	:	39,5 mg/l SiO_2
. MEST + Hydroxydes	:	132 mg/l
. hydrocarbures	:	6,1 mg/l CH_2 (méthode IR)
. sulfures	:	5,4 mg/l S^{--}
. mercaptans	:	< 0,1 mg/l S
. oxygène dissous	:	< 0,01 mg/l O_2 (méthode colo.ortotolidine)
. CO_2 dissous	:	390 mg/l CO_2

2. ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

. bactéries totales revivifiables aérobies	:	0 germes/ml
. bactéries sulfato-réductrices	:	0 germes/ml


J. COUSSEAU

SUCY EN BRIE

Mesures sur le site (28/11/85)

rapport gaz/liquide à 75° : 0,333 m³/m³

pH à 76,4° C : 6,30

Eh : - 254 mV/calomel = - 51 mV/NHE

HS⁻ = 2,25 10⁻⁶ moles/litre

= 0,074 mg/l

O₂ dissous = 0,020 mg/L

Analyse de gaz libres Concentration en % volume (sauf indiqué)

CO ₂	: 17,3	CH ₄	: 35,3
Ar	: 0,33	C ₂ H ₆	: 2,6
O ₂	: 5,4	C ₃ H ₈	: 1,5
N ₂	: 35,5	C ₄ H ₁₀	: 0,7
He	: 0,38	C ₅ H ₁₂	: 0,3
H ₂	: 0,48	C ₆ H ₁₄	: 0,2
H ₂ S	10 ppm		

Analyse de l'eau (résultats en mg/l)

Na	: 8092	HCO ₃	: 299
K	: 120	Cl	: 14880
Ca	: 1000	SO ₄	: 887
Mg	: 230	F	: 6,2
Li	: 2,45	B	: 15,0
SiO ₂	: 38,5	Sr	: 54,93
Fe	: 2,89	Ba	: 0,32

(Source : IMRG)

Analyses GEOPHASE - octobre 1987

	AMONT ECHANGEUR			
	mg/l	me/l	mg/l	me/l
1/ CARACTERISTIQUES GENERALES				
Pression (bars rel.)		14,8		
Température (°C)		77,2		
Débit (m³/h)		155		
Résidu sec (g/l)		26,3		
Matières en suspension (mg/l) (> 0,5 µm)		4,2		
pH (20°C, in situ)		7,1		
Conductivité 20°C (µS cm ⁻¹)		33 800		
Redox (mV)				
2/ ELEMENTS MAJEURS				
CO ₃ ²⁻	0	0		
HCO ₃ ⁻	299	4,9		
Cl ⁻	15 120	426		
SO ₄ ²⁻	956	19,9		
Ca ²⁺	1 300	65,2		
Mg ²⁺	276	22,7		
Na ⁺	8 100	352		
K ⁺	105	2,7		
3/ DIVERS DONT TRACES				
Nitrates (NO ₃)				
Nitrites (NO ₂)				
Phosphates (PO ₄)	0,02			
Fluorures (F)	4,2			
Sulfures (S)	1,9			
Mercaptans (RSH ⁻)	< 1			
Silice (SiO ₂)	38			
NH ₄	-			
Fer total	0,7			
Fer dissous	0,2			
Mn	< 0,1			
Cu	-			
Sr	63			
Ba	< 1			
Cr total	-			
Ni	-			
Al	< 1			
Total Anions		451		
Total Cations		443		
CO ₂ in situ	358			
O ₂ in situ	< 0,05			

réalisation
service
reprographie
du BRGM