

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE  
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Boîte Postale 6009 - 45018 ORLÉANS CEDEX - Tél. (38) 63.80.01

---

ENERGIE GEOTHERMIQUE SUBSTITUABLE  
A L'ENERGIE ANNUELLE CONSOMMEE PAR UNE  
INSTALLATION EXISTANTE

Application au cas de BAYONNE (64)

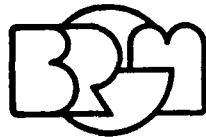
---

par

J. AURIOL

80 SGN 053 AQI

Pessac, le 5 décembre 1979



SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL AQUITAINE

Avenue Docteur-Albert-Schweitzer - 33600 PESSAC - Tél. (56) 80.69.00 - Télex 550485

- R E S U M E -

-----

Réalisé dans le cadre d'études d'avant-projet de Géothermie, le présent rapport propose une démarche de calcul simplifiée, de la quantité d'énergie géothermique substituable à une consommation d'énergie traditionnelle donnée en fonction :

- de la température de l'eau géothermale,
- du débit du forage géothermal,
- des caractéristiques thermiques de l'installation,
- des conditions climatiques moyennes.

-----

- S O M M A I R E -  
-----

	<u>PAGES</u>
RESUME .....	I
LISTE DES FIGURES .....	III
1 - <u>INTRODUCTION</u> .....	1
2 - <u>HYPOTHESES ET NOTATIONS ADOPTEES</u> .....	1
3 - <u>CALCUL DE L'ENERGIE ANNUELLE ECONOMISABLE</u> .....	3
3.1 - Fonctionnement à débit $Q_g$ constant .....	3
3.2 - Fonctionnement à débit $Q_g$ réduit .....	4
3.3 - Pourcentage annuel d'économie d'énergie .....	4
4 - <u>APPLICATION AU PROJET GEOTHERMIQUE DE BAYONNE</u> .....	6
4.1 - Données physiques .....	6
4.2 - Calculs intermédiaires .....	7
4.3 - Energie économisable sur le chauffage .....	9
4.3.1 - Installations I1 et I2 .....	9
4.3.2 - Installation I3 .....	9
5 - <u>CONCLUSIONS</u> .....	12

LISTE DES FIGURES

-----

FIGURE 1 : Schéma de fonctionnement d'une installation existante

FIGURE 2 : Schéma de raccordement à une production d'eau géothermale

FIGURE 3 : Courbes de régulation de température des installations

FIGURE 4 : Taux de couverture par la géothermie des installation I1 et I2

FIGURE 5 : Taux de couverture par la géothermie de l'installation I3

• •  
•

## 1 - INTRODUCTION

Dans un avant-projet de géothermie sur la commune de Bayonne (64), il est nécessaire d'évaluer la quantité d'énergie annuelle qu'un tel projet pourrait seul substituer aux dépenses existantes en énergie classique (fuel, gaz), en fonction de caractéristiques (débit, température) du forage géothermique, ceci dans le but de sélectionner l'horizon aquifère le plus économiquement rentable à exploiter.

Le présent rapport propose un mode de calcul approché, applicable à d'autres projets et basé sur le schéma de distribution existant (figure 1) auquel on pourrait substituer le schéma représenté figure 2 ; l'échangeur géothermique permet de réchauffer un débit constant  $Q_g$  (supposé au plus égal au débit  $Q$  de circulation dans l'installation) de la température de retour  $T_R$ , à la température  $T_g$  (supposée constante, quelle que soit  $T_R$ ).

## 2 - HYPOTHESES ET NOTATIONS ADOPTÉES

On suppose, classiquement et en première approximation, que la puissance ( $P$ ) de l'installation, les températures de départ ( $T_D$ ) et de retour ( $T_R$ ), sont des fonctions linéaires décroissantes de la température extérieure ( $t_{ex}$ ).

On note ( $t_{min}$ ) la température extérieure minimale (moyenne) dans l'année (d'après les observations météorologiques régionales sur une longue période).

On supposera le chauffage arrêté dès que  $t_{ex} > 18^\circ \text{C}$ .

Dans ces conditions, on notera :

$$P_o = P(t_{min}) \text{ en th/h}$$

$$T_{D0} = T_D(t_{min}) \text{ en } ^\circ\text{C}$$

$$T_{R0} = T_R(t_{min}) \text{ en } ^\circ\text{C}$$

$$P(18) = 0$$

$$T_D(18) = 18^\circ \text{C}$$

$$T_R(18) = 18^\circ \text{C}$$

On a alors les relations :

$$\left. \begin{aligned} P(\text{tex}) &= P_0 \times \frac{18 - \text{tex}}{18 - t_{\min}} \\ TD(\text{tex}) &= \frac{18 \times (TDO - t_{\min}) - (TDO - 18) \times \text{tex}}{18 - t_{\min}} \\ TR(\text{tex}) &= \frac{18 \times (TRO - t_{\min}) - (TRO - 18) \times \text{tex}}{18 - t_{\min}} \end{aligned} \right\} (1)$$

On peut en déduire le débit (Q) circulant dans l'installation par :

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{P \text{ (th/h)}}{TD - TR}$$

Or, à partir des relations (1), on peut écrire :

$$TD - TR = (TDO - TRO) \times \frac{18 - \text{tex}}{18 - t_{\min}}$$

par suite :  $Q = \frac{P_0}{TDO - TRO}$  ; il est donc constant, du fait de la linéarité

adoptée pour les fonctions P, TD, et TR.

L'énergie annuelle (E) consommée (pour le chauffage) par l'installation, s'écrit :

$$E = \int P(\text{tex}) dt \quad (\text{t étant le temps})$$

En première approximation, on peut admettre que :

$$E = \sum_{\text{tex} = t_{\min}}^{18} \left( 24 \times P(\text{tex}) \times N(\text{tex}) \right) \quad (2)$$

avec  $N(\text{tex})$  = nombre de jours dans l'année pour lesquels la température extérieure est égale à la valeur (tex).

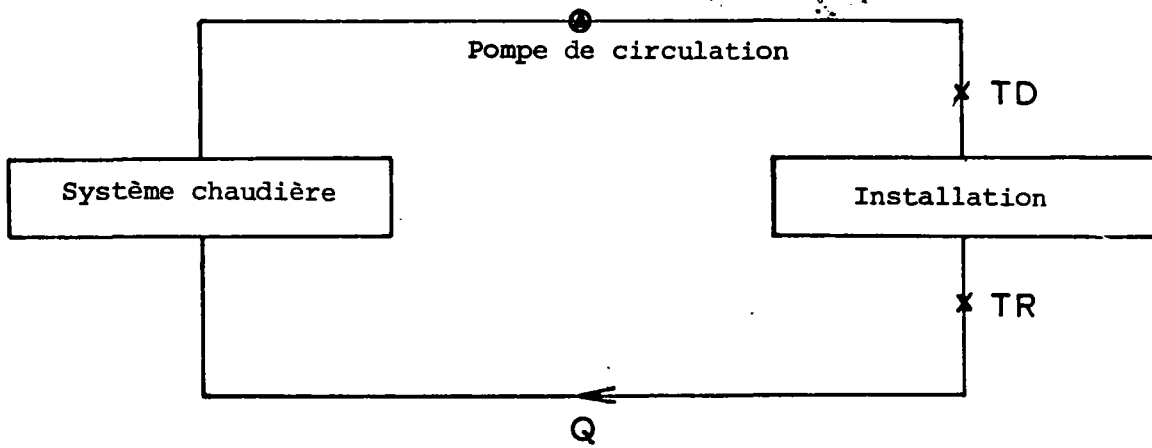


Figure 1

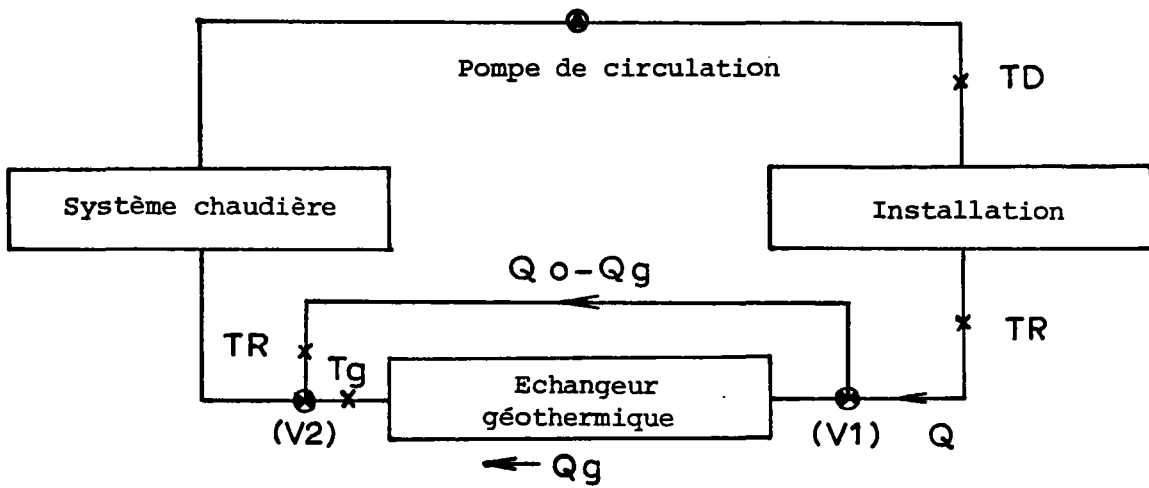


Figure 2

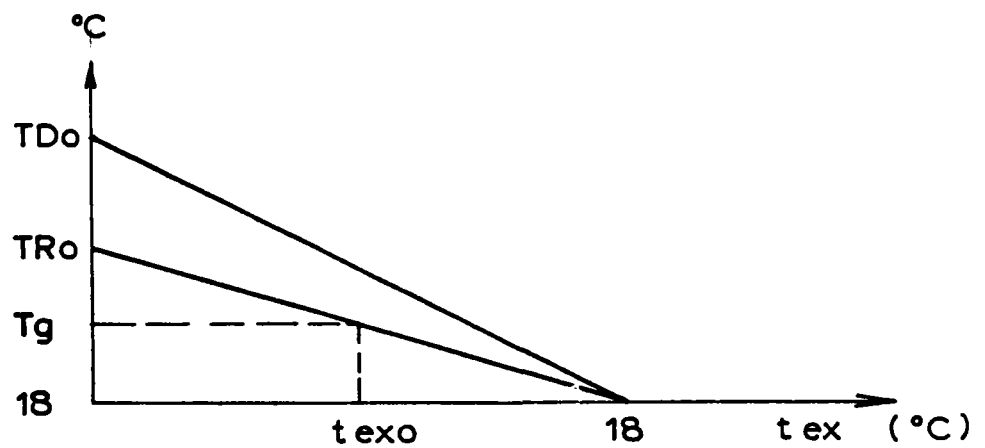


Figure 3

### 3 - CALCUL DE L'ENERGIE ANNUELLE ECONOMISABLE

#### 3.1 - Fonctionnement à débit Qg constant

En considérant la figure 2 et le graphique figure 3, on constate que la géothermie ne peut apporter de l'énergie que lorsqu'on a :

$$TR \text{ (tex)} \leq Tg$$

On notera (texo) la température extérieure pour laquelle :

$$TR \text{ (texo)} = Tg \quad (3)$$

D'autre part, à la vanne (V2), la température de mélange est sensiblement égale à :

$$Tg \times \frac{Qg}{Q} + TR \times \left(1 - \frac{Qg}{Q}\right)$$

$$\text{où : } (Tg - TR) \frac{Qg}{Q} + TR \text{ (donc } > TR)$$

Il convient donc de conserver un débit (Qg) constant tant que cette température de mélange est inférieure à la température TD à fournir à l'installation ; on notera (tex 1) la température extérieure pour laquelle on a :

$$TD \text{ (tex 1)} = (Tg - TR) \times \frac{Qg}{Q} + TR \quad (4)$$

L'énergie annuelle (E1) économisée en fonctionnement à débit constant Qg, est donc :

$$E1 = \sum_{\text{tex} = \text{texo}}^{\text{tex1}} \left( 24 \times \underbrace{Qg}_{\substack{\text{(m}^3/\text{h)}}} \times \underbrace{(Tg - TR)}_{\substack{\text{(}^\circ\text{C)}}} \times \underbrace{N \text{ (tex)}}_{\substack{\text{(jour)}}} \right) \quad (5)$$

REMARQUE - Le cas d'un débit  $Qg > Q$  ne sera pas examiné ici, car en pratique, cela ne se trouve que rarement vérifié.

### 3.2 - Fonctionnement à débit Qg réduit

Lorsque  $tex > tex1$  (cf. équation 4), l'échangeur géothermique apporte une eau trop chaude ; il convient donc de réduire le débit Qg de telle sorte que :

$$TD (tex) = (Tg - TR) \times \frac{Qg}{Q} + TR$$

$$\text{d'où : } \frac{Qg (tex)}{Q} = \frac{TD - TR}{Tg - TR}$$

Dans ces conditions, l'énergie économisable (E2) lorsque  $tex > tex1$ , est seulement :

$$E2 = \sum_{tex}^{18} (24 \times Q \times (TD - TR) \times N (tex)) \quad (6)$$

### 3.3 - Pourcentage annuel d'économie d'énergie

D'après les équations (5) et (6) l'énergie totale annuelle Ec (économisable) est :

$$Ec = E1 + E2$$

Le pourcentage d'économie annuelle (e) est donc (cf. équation 2) :

$$e = 100 \times \frac{Ec}{E}$$

Ce qui se transforme en :

$$e = \frac{\sum_{texo}^{tex1} Qg (Tg - TR) \times N (tex) + \sum_{tex1}^{18} Q \times (TD - TR) \times N (tex)}{\sum_{tmin}^{18} Q (TD - TR) \times N (tex)}$$

ou bien encore :

$$e = \frac{\frac{Qg}{Q} \times \sum_{texo}^{tex1} (Tg - TR) \times N (tex) + \sum_{tex1}^{18} (TD - TR) \times N (tex)}{\sum_{tmin}^{18} (TD - TR) \times N (tex)} \quad (7)$$

REMARQUE : on adoptera ultérieurement la notation :

$$E'1 = \frac{Qg}{Q} \sum_{tex0}^{tex1} (Tg - TR) \cdot N(tex)$$

$$E'2 = \sum_{tex1}^{18} (TD - TR) \cdot N(tex)$$

4 - APPLICATION AU PROJET GEOTHERMIQUE DE BAYONNE

4.1 - Données physiques

L'examen des installations existantes conduit à retenir, en première approche, les trois ensembles de logements suivants :

- (I1) : Z.U.P. Ste Croix Triennal I (planchers chauffants)
- (I2) : Z.U.P. Ste Croix Triennal II (planchers chauffants)
- (I3) : Foyer pour personnes âgées Harambillet (radiateurs)

Leurs caractéristiques sont rassemblées dans le tableau 1 ci-dessous :

TABLEAU 1-CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS

Ensemble	Puissance installée (th/h)	TD (-5) (°C)	TR (-5) (°C)	Nombre logements	E (10 <sup>6</sup> Kwh)
I1	7 500	60	45	832	1,6
I2	4 050	60	45	480	7,13
I3	?	80	70	?	1,5

Les consommations d'énergie consacrées à l'eau chaude sanitaire sont estimées à :

Installation (I1) : 670 MWh/mois

Installation (I2) : (30 t fuel/mois) = 252 MWh/mois

Installation (I3) : 42 MWh/mois.

Les données météorologiques (observées à Biarritz de 1955 à 1975) permettent de déduire les valeurs de N (tex), nombre de jours/an où la température extérieure a la valeur tex, rassemblées dans le tableau 2 ci-après :

TABLEAU 2 - DONNEES METEOROLOGIQUES

tex (°c)	- 5	-3	- 1	+ 1	+ 3	+ 5	+ 7	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 17
N(tex)	1	1	1	2	4	9	14	18	40	47	46	41

4.2 - Calculs intermédiaires

Pour chacune des installations, on peut effectuer les calculs de TR, TD, (TD - TR), N (tex) x (TD - TR). On obtient les valeurs numériques ci-dessous

INSTALLATIONS (I1) et (I2)

tex (°c)	- 5	- 3	- 1	+ 1	+ 3	+ 5	+ 7	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 17
TD(°c)	60	56,35	52,70	49,04	45,39	41,74	38,09	34,44	30,78	27,13	23,48	19,83
TR(°c)	45	42,65	40,30	37,96	35,61	33,26	30,91	28,56	26,52	23,87	21,52	19,17
TD-TR	15	13,7	12,4	11,08	9,78	8,48	7,18	5,88	4,26	3,26	1,96	0,66

INSTALLATION (I3)

tex (°c)	- 5	- 3	- 1	+ 1	+ 3	+ 5	+ 7	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 17
TD(°c)	80	74,61	69,22	63,82	58,43	53,04	47,65	42,26	36,86	31,47	26,08	20,69
TR(°c)	70	65,48	60,96	56,44	51,92	47,40	42,87	38,35	33,83	29,31	24,79	20,26
TD-TR	10	9,13	8,26	7,38	6,51	5,64	4,78	3,91	2,93	2,16	1,29	0,43

Pour différentes valeurs de la température Tg à la sortie de l'échangeur géothermique, on peut en déduire les tableaux ci-dessous :

INSTALLATIONS (I1) et (I2) :  $\text{texo} = -5^{\circ}\text{C}$  si  $T_g \geq 45^{\circ}\text{C}$

tex (°C)	- 5	- 3	- 1	+ 1	+ 3	+ 5	+ 7	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 17
<u>TD-TR</u> 45-TR	∞	5,83	2,64	1,57	1,04	0,72	0,51	0,36	0,23	0,15	0,083	0,026
<u>TD-TR</u> 50-TR	3	1,86	1,28	0,92	0,68	0,51	0,376	0,274	0,181	0,125	0,069	0,021
<u>TD-TR</u> 55-TR	1,5	1,11	0,84	0,65	0,504	0,39	0,30	0,222	0,150	0,105	0,063	0,018
<u>TD-TR</u> 60-TR	1	0,79	0,63	0,503	0,401	0,317	0,247	0,176	0,118	0,085	0,051	0,016

INSTALLATION (I3)

Tg (°C)	45	50	55	60
texo (°C)	+ 5,6	+ 3,8	+ 1,6	- 0,6

tex (°C)	- 5	- 3	- 1	+ 1	+ 3	+ 5	+ 7	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 17
<u>TD-TR</u> 45-TR	-	-	-	-	-	-	2,24	0,59	0,262	0,138	0,064	0,017
<u>TD-TR</u> 50-TR	-	-	-	-	-	2,17	0,67	0,336	0,181	0,104	0,051	0,014
<u>TD-TR</u> 55-TR	-	-	-	-	2,114	0,742	0,394	0,235	0,138	0,084	0,043	0,012
<u>TD-TR</u> 60-TR	-	-	-	2,073	0,806	0,448	0,279	0,181	0,112	0,070	0,037	0,011

4.3 - Energie économisable sur le chauffage

Utilisant les résultats intermédiaires du paragraphe 4.2 ci-dessus, ainsi que les relations (5), (6) et (7), on a complété les tableaux ci-dessous :

4.3.1 - Installations I1 et I2

On obtient : 
$$\sum_{-5}^{+18} (TD - TR) \times N \text{ (tex)} \neq 826$$

Les valeurs de (e) suivant (Tg) et le rapport (Qg/Q) sont indiquées tableau 3 et figure 4.

4.3.2 - Installation I3

On obtient 
$$\sum_{-5}^{+18} (TD - TR) \times N \text{ (tex)} \neq 537$$

Les valeurs de (e) suivant Tg et le rapport Qg/Q sont indiquées tableau 4 et figure 5. La gamme de valeurs du rapport Qg/Q est plus étendue que la précédente puisque le débit circulant dans l'installation I3 est plus faible (78 m3/h) et on peut donc l'obtenir plus facilement.

TABLEAU 3 - VALEURS DE (e) POUR LES INSTALLATIONS I1 et I2

Tg = 45° C				
Qg/Q	0,1	0,2	0,3	0,4
tex (°C)	+14,5	+11,5	+ 10	+ 8,5
E'1	328,1	279,3	250,3	144,6
E'2	42,7	270,4	368,4	440,8
e	0,45	0,67	0,75	0,84

TABLEAU 3 (suite)

Tg = 50° C				
Qg/Q	0,1	0,2	0,3	0,4
tex1 (°C)	14°	10,5	8	6,5
E'1	307,5	369,3	272,3	208,6
E'2	117,1	270,4	440,8	546,7
e	0,51	0,77	0,86	0,91

Tg = 55° C				
Qg/Q	0,1	0,2	0,3	0,4
tex1 (°C)	13	9,5	7	5
E'1	376	231,5	204,5	137,7
E'2	117,2	440,8	546,7	647,2
e	0,60	0,81	0,91	0,95

Tg = 60° C				
Qg/Q	0,1	0,2	0,3	0,4
tex1 (°C)	+ 12	+ 8,5	+ 5,5	+ 3
E'1	274	281,5	130,3	77,5
E'2	278	440,8	647,2	723,5
e	0,66	0,874	0,94	0,97

TABLEAU 4 - VALEURS DE (e) POUR L'INSTALLATION I3

Tg = 45° C			
Qg/Q	0,1	0,5	1
E'1	133	75	30
E'2	110	296	366
e	0,45	0,69	0,74

Tg = 50° C			
Qg/Q	0,1	0,5	1
E'1	195	60	0
E'2	77	365	432
e	0,51	0,79	0,805

Tg = 55° C			
Qg/Q	0,1	0,5	1
E'1	262	30	0
E'2	77	433	484
e	0,63	0,86	0,90

Tg = 60° C			
Qg/Q	0,1	0,5	1
E'1	489	18	14,7
E'2	17,6	495	495
e	0,94	0,95	0,95

Figure 4

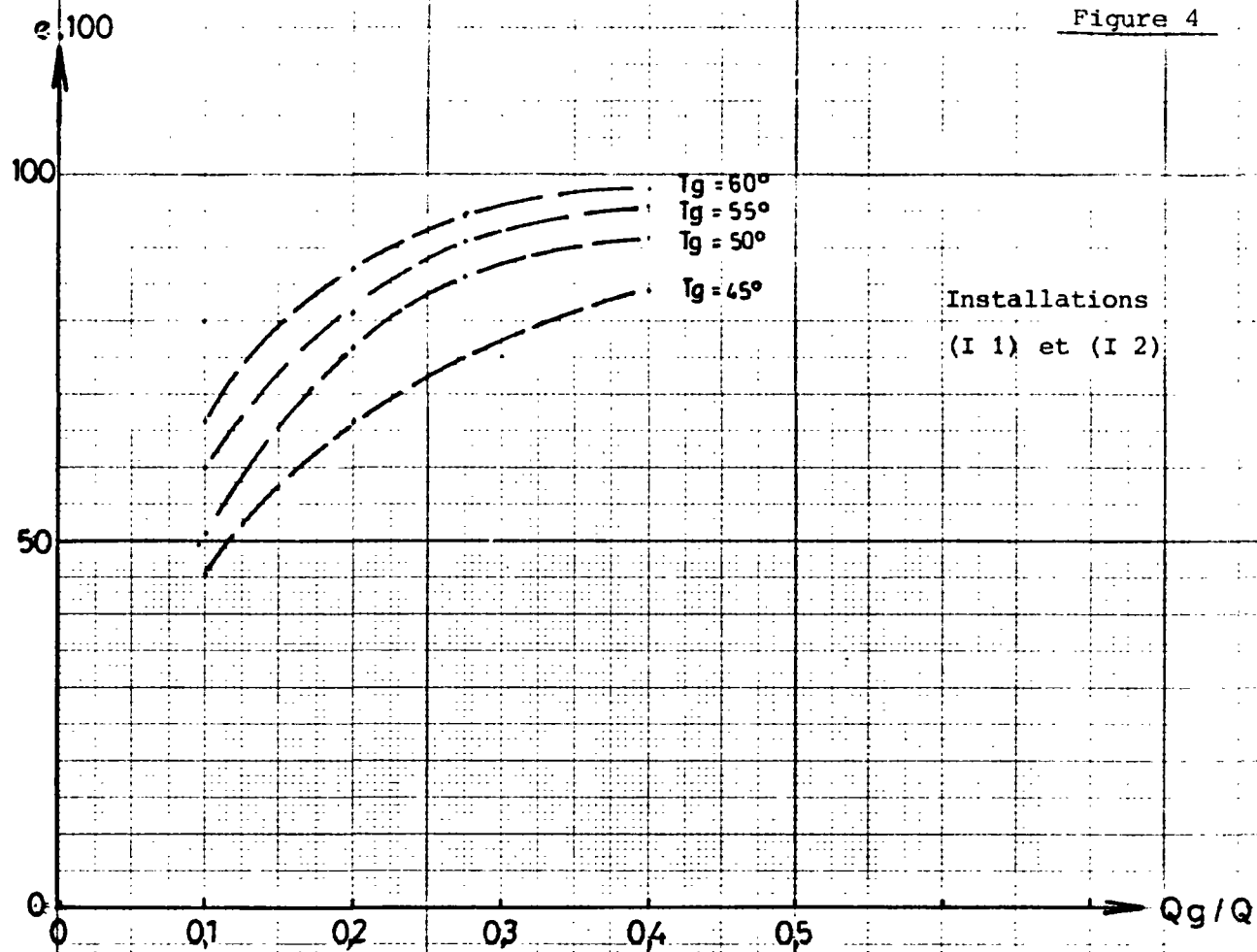
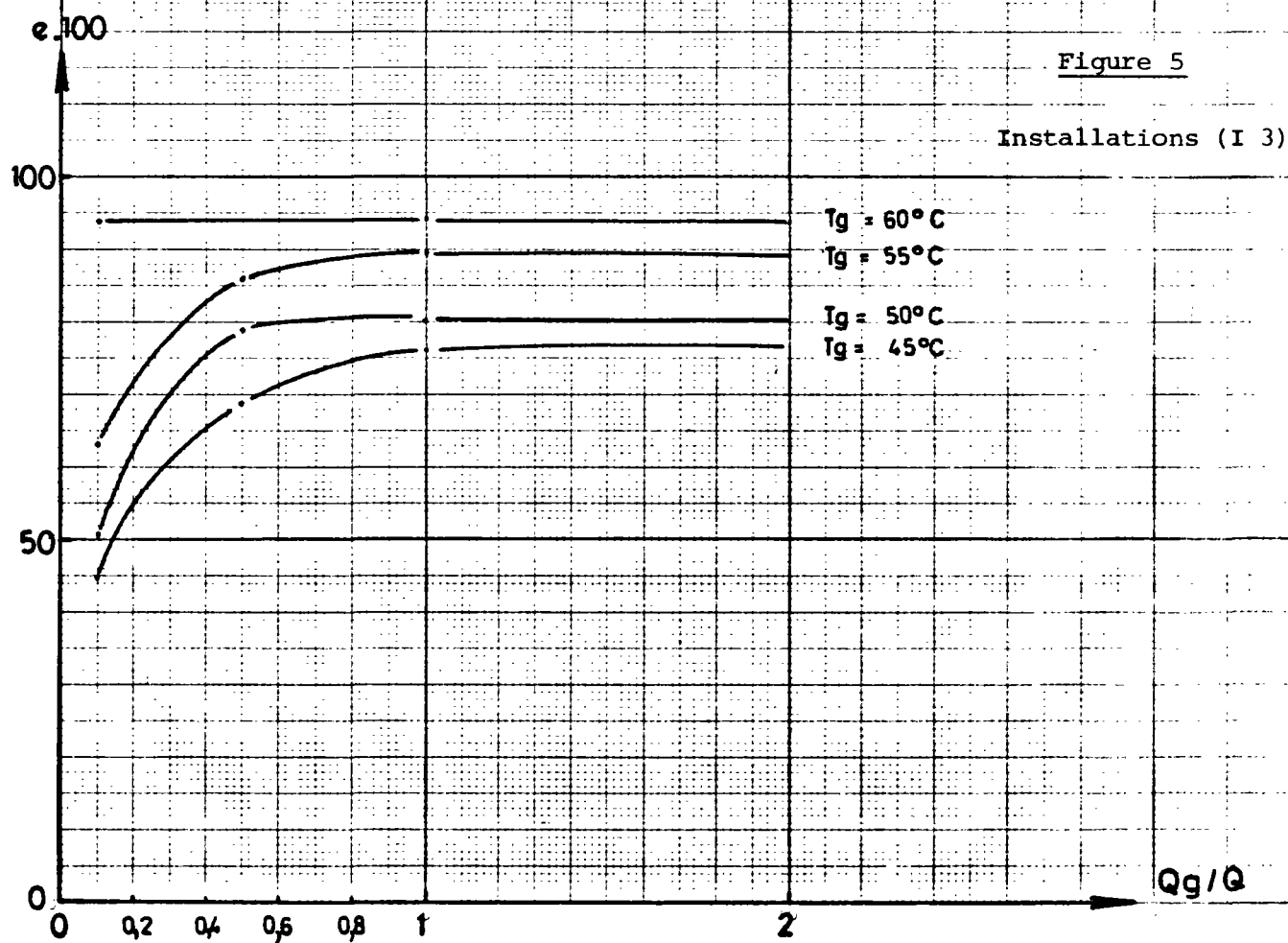


Figure 5



5 - CONCLUSIONS -

Le présent rapport montre au calcul approché, mais suffisant pour l'étude d'un avant-projet, du taux de couverture de l'énergie annuelle dépensée par une installation existante, par l'énergie géothermique. Cela, en fonction du couple (Débit - température) caractérisant l'eau géothermale.

Cette démarche paraît intéressante lorsqu'un avant-projet demande une sélection parmi plusieurs aquifères possibles en tant que ressource : il s'agit alors d'effectuer un choix optimal entre un forage profond donnant une eau de température plus élevée mais pour un investissement plus important, et un aquifère demandant un forage plus court mais pouvant produire une eau de température moins élevée.

Par ailleurs, on peut constater que le calcul qui précède est aisément programmable, ce qui réduirait considérablement les frais d'études ultérieures.