

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

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

IV REGION MILITAIRE

COMMANDEMENT ET DIRECTION DU GENIE

DIRECTION DES TRAVAUX DE BORDEAUX

CHAUFFAGE DE LA CASERNE BOSQUET

ETUDE DE FAISABILITE

par JC.MARTIN

83 SGN 093 AQI

Janvier 1983



SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL AQUITAINE

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

R E S U M E

=====

A la demande de la Direction du Génie de la IVème Région Militaire (DIRECTION DES TRAVAUX DE BORDEAUX) le Service Géologique Régional Aquitaine du BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES a réalisé l'étude de faisabilité du raccordement des installations de chauffage de la Caserne BOSQUET sur le réseau d'eau du forage géothermique G M M 1.

Trois solutions ont été envisagées :

- utilisation de la géothermie seule.
- utilisation de la géothermie avec des pompes à chaleur (sortie condenseur 50°C).
- utilisation de la géothermie avec des pompes à chaleur (sortie condenseur 70°C)

L'étude thermique met en évidence l'intérêt d'utiliser la géothermie seule sans pompe à chaleur. En effet, la première solution permet de couvrir 74 % des besoins de chauffage des bâtiments raccordés, et la totalité des besoins en eau chaude sanitaire.

Cette solution permet de dégager chaque année une économie d'énergie primaire de 657 tonnes équivalent pétrole. Cela se traduit par une économie financière de 560.000 F. H.T sur le poste combustible. Les dépenses d'investissement à consentir pour ce projet sont les suivantes :

- . amenée de l'eau géothermique.
(station de pompage - canalisations).
- . construction d'une centrale géothermique
(bâtiment - pompe de circulation - échangeur de chaleur)
- . réseau de chaleur dans la caserne.
- . aménagement des sous-stations.

Si ces investissements (amortissables sur une longue période) sont lourds, les frais de fonctionnement sont relativement limités :

- . entretien
- . électricité de pompage.

S O M M A I R E

=====

Résumé

Sommaire

1 - RAPPEL DES HYPOTHESES DE BASE

1.1 - Caractéristiques du forage géothermique G M M 1

1.2 - Caractéristiques thermiques des bâtiments concernés par le réseau géothermique.

1.3 - Besoins calorifiques de chauffage.

1.4 - Besoins calorifiques de la production d'eau chaude sanitaire.

2 - CHAUFFAGE DE LA CASERNE BOSQUET PAR GEOTHERMIE.

2.1 - Généralités - Méthode de calcul.

2.2 - Chauffage par géothermie seule.

2.3 - Chauffage par géothermie et pompe à chaleur
(température condenseur 50°C)

2.4 - Chauffage par géothermie et pompe à chaleur
(température condenseur 70° C)

3 - PRODUCTION DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE PAR GEOTHERMIE

4 - BILAN ENERGETIQUE DU PROJET

CONCLUSION

Planche : Schéma de principe du réseau de chaleur.

I - RAPPELS DES HYPOTHESES DE BASE.

1.1 - Caractéristiques du forage géothermique G M M 1

Il s'agit de valoriser le forage géothermique G M M 1 qui couvre actuellement les besoins calorifiques de la Base aérienne, la résidence Hélène Bauchet et l'Hôpital Ste. Anne.

Le débit disponible est constant : 220 m³/h.

La température de l'eau est variable (entre 40 et 50° C), elle est fonction de l'utilisation faite en amont.

On retiendra comme schéma les hypothèses suivantes :

<u>Température extérieure</u>	<u>Température de l'eau</u>
(°C)	(°C)
- 5	40
+20	50

avec une variation linéaire entre les deux extrêmes :

$$T_{\text{eau}} = 42 + 0,4 T_{\text{ext}}$$

1.2 - Caractéristiques thermiques des bâtiments concernés par le réseau géothermique.

Le tableau I résume les caractéristiques thermiques des douze bâtiments de la Caserne Bosquet concernés par le chauffage géothermique.

La puissance utile totale s'élève à 3520 KW utiles.

On distingue trois types de système de chauffage défini par le niveau de température de l'eau dans les corps de chauffe.

Groupe	Bâtiments	Loi de chauffe	Puissance utile de chauffage (KW)
A	4-9-10-13-26-28-29	55/40	2550
B	20 - 27	70/50	485
C	3 - 8 - 15	90/70	485

**TABLEAU I - CARACTERISTIQUES THERMIQUES DES BATIMENTS CONCERNES
PAR LE RESEAU GEOTHERMIQUE**

N° de repère	Désignation	Puissance utile de chauffage (KW)	Loi de Chauffe	Température consigne(°C)	Production ECS (m ³ /jour)
3	Logements cadres	200	90/70	18	3
4	Logements M.D.R	400	55/40	18	6
8	Infirmerie	200	90/70	20	---
9	Logements M.D.R	400	55/40	18	6
10	PC.Logts. M.D.R	400	55/40	18	4
13	Ensemble alimentation	450	55/40	18	9
15	Magasin mobilisation	100	90/70	16	---
20	Garages	70	70/50	16	---
26	Gymnase	200	55/40	16	---
27	Logements M.D.R	400	70/50	18	6
28	Logements M.D.R	400	55/40	18	6
29	Cercle Mess	300	55/40	18	---

Les bâtiments du groupe A sont chauffés à partir d'un système à basse température (55/40°C). Ils représentent 2550 KW de puissance utile de chauffage, soit un peu plus de 72 % au total de la puissance maximale appelée. Ils représentent par conséquent le poids le plus important dans le bilan énergétique de la récupération de chaleur sur le forage géothermique G M M 1.

Les bâtiments du groupe B et C représentent chacun 14 % du total de la puissance maximale appelée, et sont moins adaptés à une opération de géothermie que le premier groupe, à cause du niveau élevé de la température de leurs corps de chauffe.

1.3 - Besoins calorifiques de chauffage.

La fréquence des températures extérieures de Mont de Marsan est indiquée au tableau II.

Température de base : - 5°C.

On supposera pour l'ensemble des bâtiments, qu'à partir d'une température extérieure supérieure à la température de non chauffage (Tnc) les besoins calorifiques sont nuls, avec Tnc = 17°C.

L'expression de la puissance utile de chauffage est la suivante :

$$P_u = k(17 - T_{ext}).$$

Cette température de non chauffage inférieure à la température de consigne permet d'intégrer les apports gratuits (soleil, etc...)

Les consommations énergétiques utiles, qui en résultent, sont données par l'expression suivante :

$$E = k \sum_{t=-5}^{t=17} (17 - t) \times D_t$$

avec D_t : fréquence en heure de la température extérieure t .

Energie utile - Energie P C I

Le rendement de combustion - distribution en chaufferie est le rapport de l'énergie utile sur l'énergie P C I. On supposera que ce rendement est égal à 80 %.

VERIFICATION DES HYPOTHESES DE TRAVAIL

La consommation spécifique de chauffage du bâtiment 3 pour l'hiver 1981-1982 a été de 44 m^3 de fuel domestique.

Puissance utile du bâtiment : 200 Kw
Consommation théorique : 1967 Kwh/Kw

$$E = 200 \times 1967 \\ = 393400 \text{ Kwh utile.}$$

Energie P.C.I : $393400 / 0,80 = 491750 \text{ Kwh.}$

Pouvoir calorifique du fuel domestique : 10,5 Kwh/litre.

Consommation théorique : $491750 / 10,5 = 46,8 \text{ m}^3$.

ce qui représente un écart de 6 % sur les consommations observées durant l'hiver 1981-1982. Compte tenu des variations interannuelles, nous pouvons retenir nos hypothèses comme satisfaisantes.

Besoins calorifiques utiles de l'ensemble des bâtiments :

$$E = 3520 \times 1967 = 6923840 \text{ Kwh}$$

6923 Mwh utiles

1.4 - Besoins calorifiques de la production d'eau chaude sanitaire.

Les besoins journaliers de production d'eau chaude sanitaire s'élèvent à 40 m^3 .

Température de l'eau : 40° C.

Température de l'eau du réseau de la ville : 12°C.

Energie utile : $40 \times 1,163 \times (40 - 12) = 1303 \text{ Kwh.}$

Compte tenu des faibles rendements des réseaux de chaleur pour la seule production de l'eau chaude sanitaire en été, la production d'eau chaude sanitaire sera assurée par des ballons individuels dans chaque bâtiment, fonctionnant en accumulation durant les heures creuses de la tarification électrique.

En hiver, le réseau de chaleur pourra assurer une partie de ces besoins. Par conséquent, seuls les besoins calorifiques des 220 jours de la saison de chauffe seront comptabilisés.

On tiendra compte également d'un rendement de 30 % dû à la boucle de recyclage de l'eau chaude sanitaire dans les bâtiments.

Besoins calorifiques utiles (ECS/220 jours)

$$220 \times 1303/0,3 = 955533 \text{ Kwh}$$

955 Mwh.
=====

Ce résultat représente 12 % de l'ensemble de l'énergie utile (besoins de chauffage + production E C S) des bâtiments concernés.

II - CHAUFFAGE DE LA CASERNE BOSQUET PAR GEOTHERMIE!

2.1 - Généralités - Méthode de calcul.

On envisagera successivement trois cas de figure :

- chauffage par échangeur seul.
- chauffage par pompe à chaleur (50°C au condenseur utilisant du R 22)
- chauffage par pompe à chaleur (70° C au condenseur utilisant du R 12)

Pour ce faire, une centrale thermique sera installée où aura lieu la récupération de chaleur sur le circuit géothermique pour alimenter un réseau de chaleur desservant les 12 sous-stations. Dans chacune des sous-stations, une chaudière apportera l'appoint nécessaire aux besoins thermiques des jours les plus froids.

Le schéma de principe est représenté sur la planche figurant en annexe.

Sur les figures n° 1 - 2 et 3 sont représentées les lois de chauffage des trois groupes de bâtiments A,B et C.(Diagramme des températures.)

On a représenté, en fonction de la température extérieure, les températures des fluides suivants :

• DIAGRAMME DES TEMPERATURES -

Groupe A

Loi 55/40°C

Pu : 2550 KW

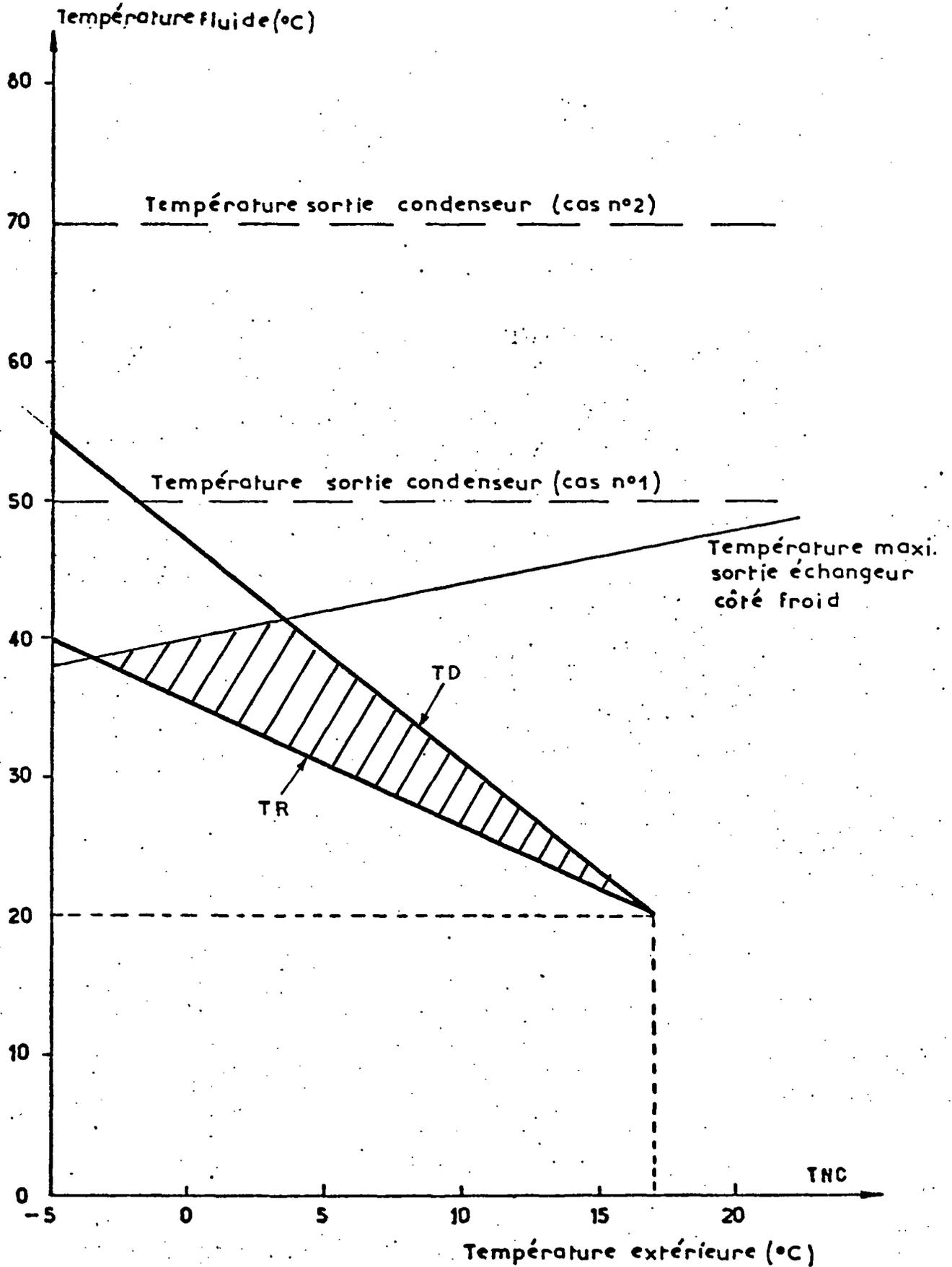
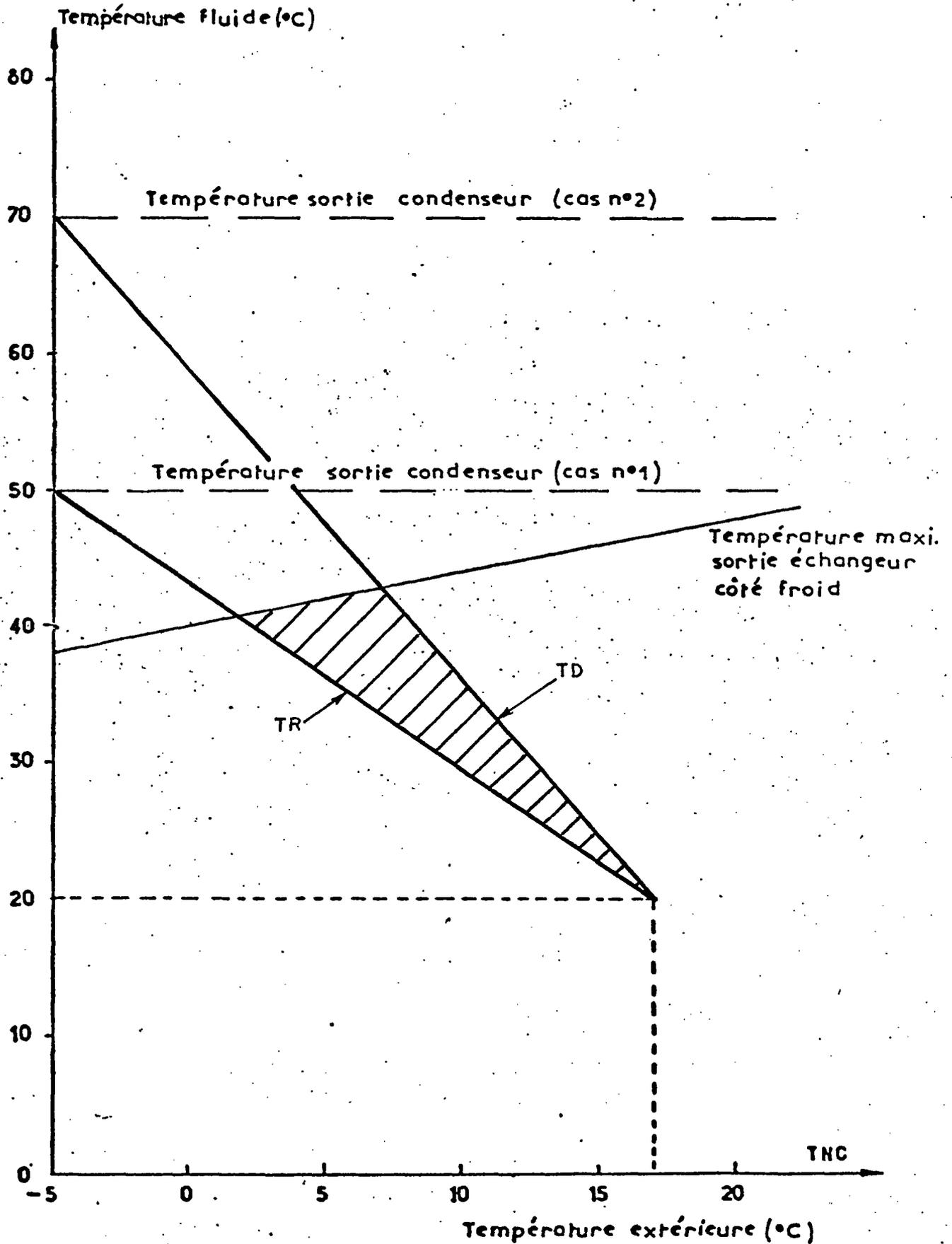


DIAGRAMME DES TEMPERATURES

Groupe B

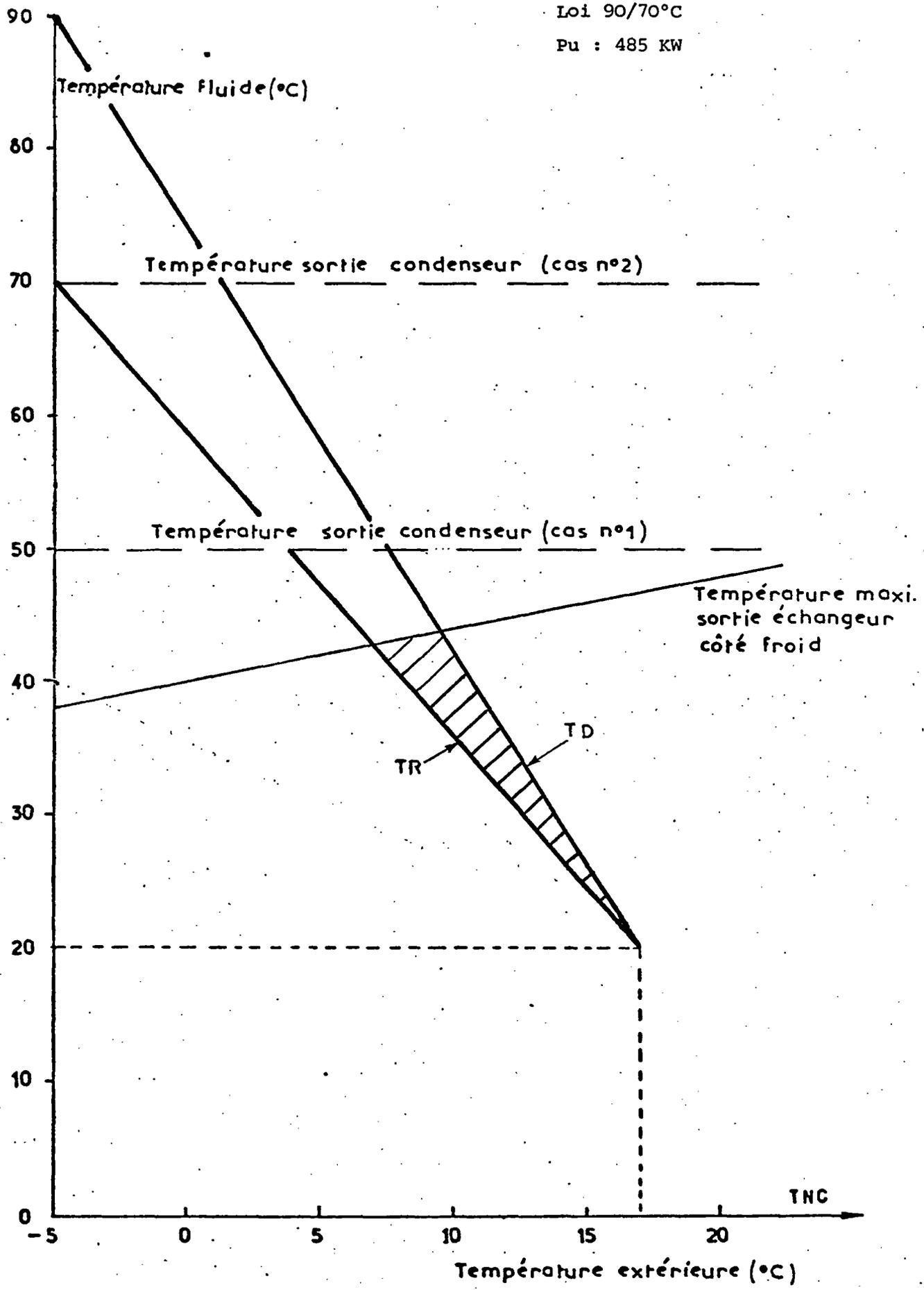
Loi 70/50°C

Pu : 485 KW



• DIAGRAMME DES TEMPERATURES

Groupe C
Loi 90/70°C
Pu : 485 KW



- température de départ dans le réseau secondaire. (TD)
- température de retour dans le réseau secondaire. (TR)
- température maximale à la sortie de l'échangeur côté froid.
- température sortie condenseur (50°C).
- température sortie condenseur (70°C).

La température maximale à la sortie de l'échangeur est égale à la température disponible sur l'eau géothermique diminuée du pincement de l'échangeur que l'on prendra égale à 2°C.

Ces graphiques permettent de connaître les différentes températures de transition à partir desquelles on doit isoler une sous-station du réseau de chaleur, ou déclencher l'appoint.

CALCUL DES TEMPERATURES DE TRANSITION

Groupe A (55/40°C) = (Géothermie seule)

A partir de 3° C extérieure, la température de départ est égale à 42°C pour une température maximale sur le réseau de 41°C. On doit donc enclencher l'appoint des sous-stations du groupe A.

De - 3°C à -5°C, les températures de retour sont supérieures à la température maximale du réseau

Les sous-stations du groupe A ne peuvent alors plus être alimentées en température, par le réseau. Les vannes de régulation doivent alors isoler ces sous-stations.

Groupe B : (Géothermie seule)

Le même raisonnement appliqué à ces sous-stations nous conduit aux températures de transition suivantes :

- 7,5°C extérieure : mise en route de l'appoint.
- 2,5°C extérieure : isolation des sous-stations du réseau géothermique.

Pour les trois groupes A, B et C, et pour les trois cas envisagés, on obtient les résultats qui figurent dans le tableau III.

TABLEAU III - TEMPERATURES DE TRANSITION DES DIFFERENTS SCHEMAS ENVISAGES.

Groupe	Géothermie		Géothermie et PAC (50°C)		Géothermie et PAC (70°)	
	T 1	T 2	T 1	T 2	T 1	T 2
A	3,5	- 2,5	- 1,5	---	---	---
B	7,5	2,5	4,5	- 4,5	---	---
C	9,5	7,5	7,5	4,5	1,5	- 4,5

T₁ : mise en route de l'appoint en sous-station.

T₂ : isolation de la sous-station du réseau géothermique.

On s'aperçoit que les températures de transition sont d'autant plus élevées que les températures de chauffage sont fortes.

Pour le groupe A, l'appoint n'est plus nécessaire avec une pompe à chaleur produisant de l'eau à 70°C. Par contre, l'appoint sera dans tous les cas utilisé pour les sous-stations du groupe C.

Les différents calculs de puissance et de consommation des différents groupes permettent de connaître :

- le taux de couverture de la géothermie.
- le taux de couverture des pompes à chaleur.
- la consommation électrique des pompes à chaleur.
- la puissance des échangeurs de chaleur.

- la puissance des pompes à chaleur.

Les résultats des bilans des différentes hypothèses figurent dans les chapitres suivants.

2.2 - Chauffage par géothermie seule

La figure n° 4 représente la puissance utile soutirée à la centrale géothermique . Le maximum est atteint pour une température extérieure de 4°C.

Nous avons :

Puissance géothermique = 1600 KW.

Ecart de température moyen = 2°C.

Coefficient d'échange = 3500 w/m² °C.

Surface d'échange = 229 m².

Le bilan énergétique figure sur le tableau IV.

La couverture géothermique représente 74 % des besoins utiles totaux, mais elle n'est pas la même pour les différents groupes de bâtiments,

Groupe A : 85 %

Groupe B : 62 %

Groupe C : 32 %

TABLEAU IV - Bilan énergétique solution géothermie.

	Energie utile totale (MWH)	Energie géothermique (MWH)	Energie d'appoint (MWH)
Groupe A	5009	4252	757
Groupe B	957	595	362
Groupe C	957	306	651
TOTAL	6923	5153	1770

Economies réalisées : 5153 MWH utiles.

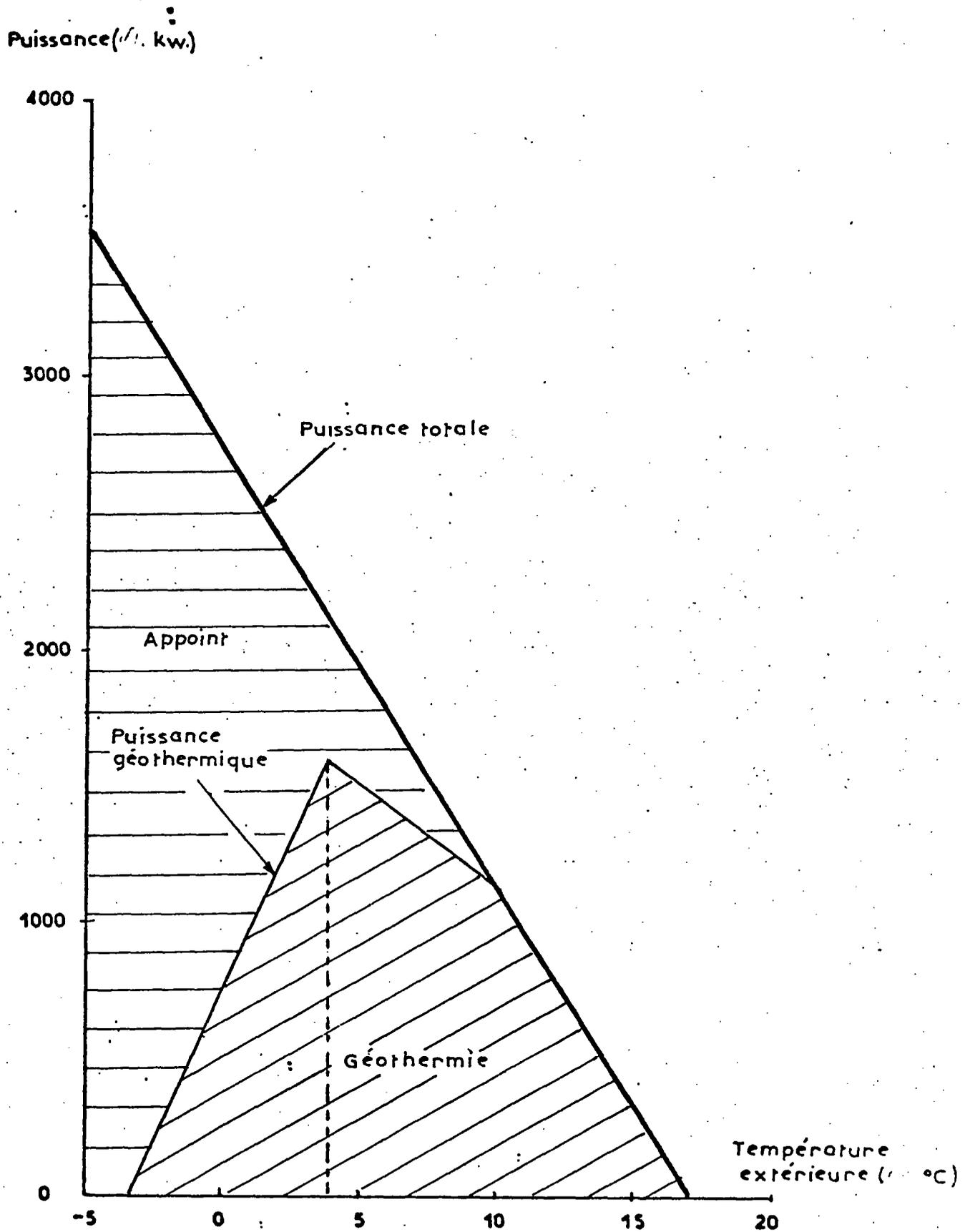
Equivalence P C I : 6441 MWH P C I

Economie d'énergie
primaire : 554 T E P.

1 T E P = 10 000 thermies P C I

DIAGRAMME DES PUISSANCES

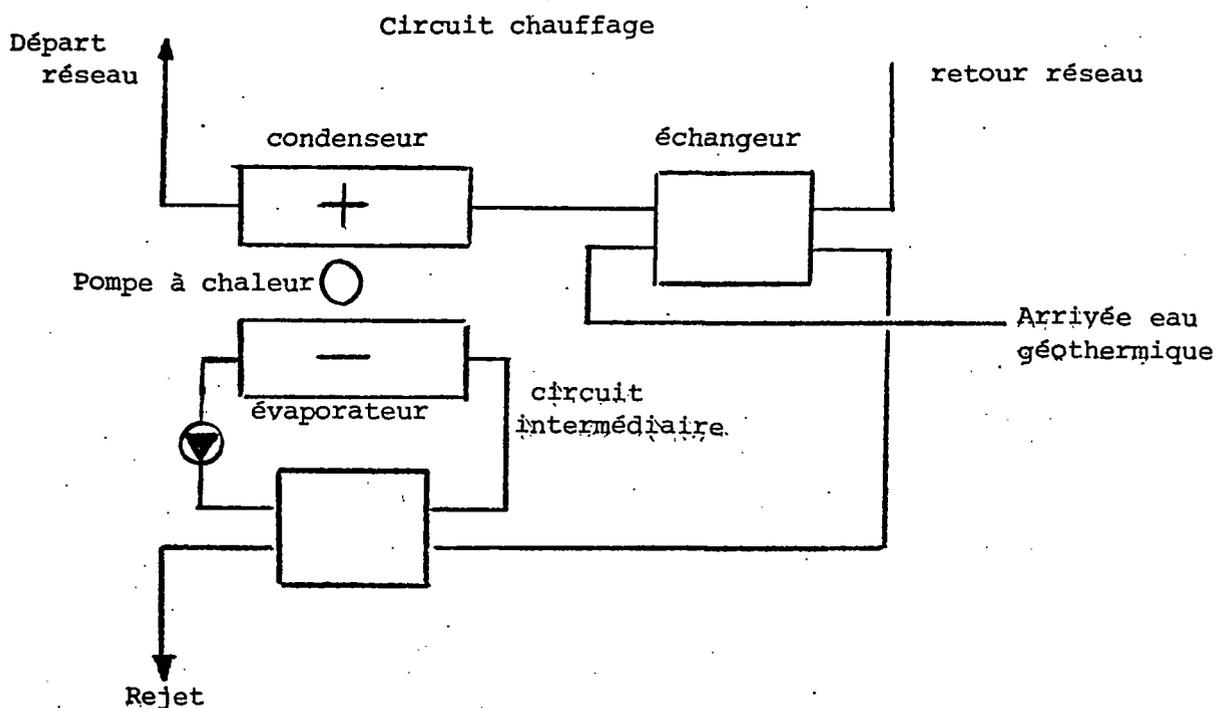
Géothermie seule.



2.3 - Chauffage par géothermie et pompe à chaleur (température condenseur 50°C).

Pour une température extérieure supérieure à 10°C, on peut couvrir l'ensemble des besoins de chauffage par géothermie seule. Par conséquent, pour les deux cas de fonctionnement avec pompe à chaleur, on assurera les besoins de chauffage par géothermie jusqu'à + 9,5°C extérieure.

SCHEMA DES INSTALLATIONS



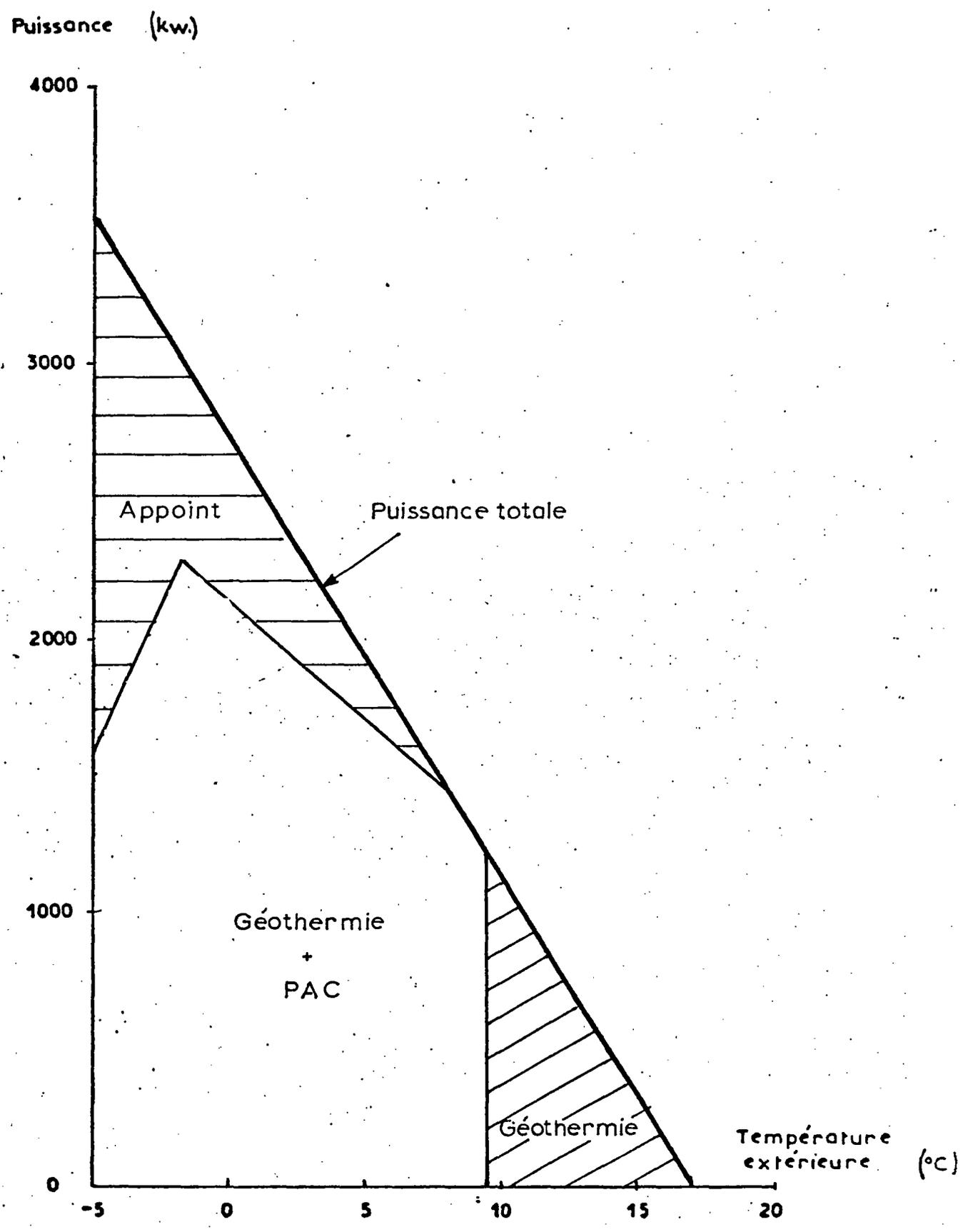
La puissance maximale couverte par la géothermie seule est de 1100 W.

Avec les mêmes hypothèses que précédemment, cela nous donne une surface d'échange de 157 m².

La puissance maximale couverte par la pompe à chaleur est de 2300 KW au condenseur.

DIAGRAMME DES PUISSANCES

Géothermie + P A C (50°C)



Le bilan énergétique figure au tableau V. Le taux de couverture total est de 91 % mais la consommation d'énergie électrique est importante (1165 MWH).

Pour cette raison, le bilan énergétique ramené à la T E P nette économisée (déduction faite des consommations électriques) est moins bon que dans le cas précédent où le bilan énergétique met en évidence une économie nette de 554 T E P.

Le résultat n'est pas surprenant car la mise en place d'une pompe à chaleur ne bénéficie qu'aux sous-stations des groupes B et C qui ne représentent que 28 % du total des besoins.

TABLEAU V - Bilan énergétique - Solution géothermie avec pompe à chaleur à 50° C.

	Energie utile totale (MWH)	Energie géothermique (MWH)	Energie P A C (MWH)	Energie d'appoint (MWH)
Groupe A	5009	1179	3779	51
Groupe B	957	227	594	136
Groupe C	957	227	285	445
TOTAL	6923	1633	4658	632

Economies réalisées : 6291 MWH utiles

Equivalence P C I : 7864 MWH P C I

Economie d'énergie primaire : 676 T E P

Consommation d'énergie électrique (COP=4) : 1165 MWH électriques

Economie nette

(4000 KWH électrique = 1 TEP) 385 T E P

2.4 - Chauffage par Géothermie et pompe à chaleur (température condenseur 70 ° C)

La puissance maximale couverte par la géothermie n'a pas évolué par rapport à la solution précédente : 1000KW.

La puissance maximale couverte par la pompe à chaleur est de 3050 KW au condenseur,

Le bilan énergétique figure au tableau VI,

Le taux de couverture est de 99 % avec une consommation d'énergie électrique de 1738 MWH.

Le bilan énergétique est par conséquent encore moins bon que précédemment .

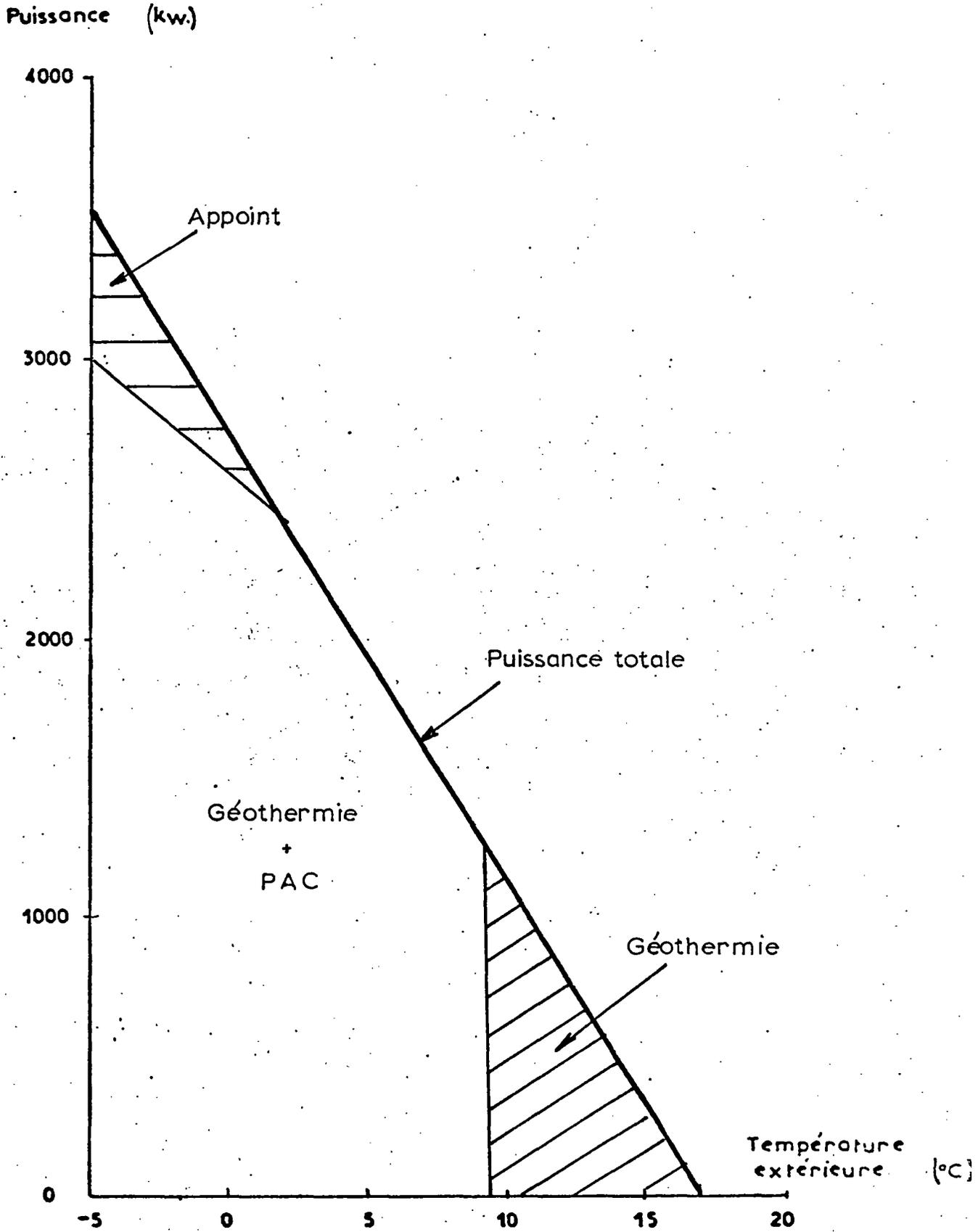
TABLEAU VI - Bilan énergétique - Solution géothermie avec pompe à chaleur à 70° C.

	Energie utile totale (MWH)	Energie Géothermique (MWH)	Energie P A C (MWH)	Energie d'appoint (MWH)
Groupe A	5009	1179	3830	---
Groupe B	957	227	730	---
Groupe C	957	227	655	75
TOTAL	6923	1633	5215	75

Economies réalisées ; 6848 MWH utiles
Equivalence P C I ; 8560 MWH P C I
Economie d'énergie primaire ; 736 T E P
Consommation d'énergie électrique (C O P = 3) ; 1738 MWH électrique
Economie nette ; 302 T E P

DIAGRAMME DES PUISSANCES

Géothermie + P A C (70°C)



3 - PRODUCTION DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE. PAR GEOTHERMIE

Pour éviter d'avoir un fonctionnement en été du réseau de chaleur, qui fonctionnerait avec un rendement très bas, l'eau chaude sanitaire sera produite à partir de ballons d'accumulation.

Le niveau de température de l'eau chaude sanitaire (40°C) permet d'envisager durant tout l'hiver une production à partir du réseau géothermique.

Le tableau VII donne le bilan énergétique pour les trois hypothèses envisagées.

TABIEAU VII -

PRODUCTION E C S

	Energie utile totale (MWH)	Energie géothermie (MWH)	P A C (MWH)
Géothermie	955	955	---
Géothermie avec P A C (50°C)	955	449 *	506
Géothermie avec P A C (70°C)	955	449 *	506

Economie nette (T E P)

Solution 1

Solution 2

Solution 3

103

71

61

* 103 jours sur 220 jours,

La production d'eau chaude sanitaire nécessite une augmentation de la taille des échangeurs et des pompes à chaleur, dimensionnés aux paragraphes 2.2, 2.3 et 2.4.

Cette augmentation de puissance doit tenir compte des divers foisonnements sur l'utilisation de l'eau chaude sanitaire et du chauffage.

4 - BILAN ENERGETIQUE DU PROJET.

Les résultats globaux figurent dans le tableau VIII.

On se rend bien compte de la chute de rendement du projet avec l'utilisation de pompes à chaleur. En effet, l'économie nette d'énergie primaire chute de 657 à 456 et 363 avec l'utilisation des pompes à chaleur.

De plus, la quantité d'énergie prélevée sur le forage GMM1 n'augmente pas. En effet, la mise en fonctionnement des pompes à chaleur n'a pour unique effet que l'augmentation du niveau de température dans le réseau de chauffage avec une consommation d'énergie électrique que l'on retrouve présentée dans le réseau alimentant les sous-stations. De ce fait, pour les stations du groupe A (55/40°C) où le niveau de température est faible, on aura un mélange à faire pour diminuer le niveau de température dans ces corps de chauffe, ce qui provoque une chute de rendement qui explique la mauvaise position d'un système basé sur l'utilisation des pompes à chaleur.

BILAN ENERGETIQUE DU PROJET

TABLEAU VIII

	CHAUFFAGE				E C S				TOTAL			
	Energie utile totale (MWH)	chaleur achetée (MWH)	Energie électri (MWH)	Economie nette (TEP)	Energie utile totale (MWH)	chaleur achetée (MWH)	Energie élect. (MWH)	Economie nette (TEP)	Energie utile totale (MWH)	chaleur achetée (MWH)	Energie élect. (MWH)	Economie nette (TEP)
GTH	6923	5153	---	554	955	955	---	103	7878	6108	---	657
GTH + PAC 50	6923	5126	1165	385	955	828	127	71	7878	5954	1292	456
GTH + PAC 70	6923	5110	1738	302	955	786	169	61	7878	5896	1907	363

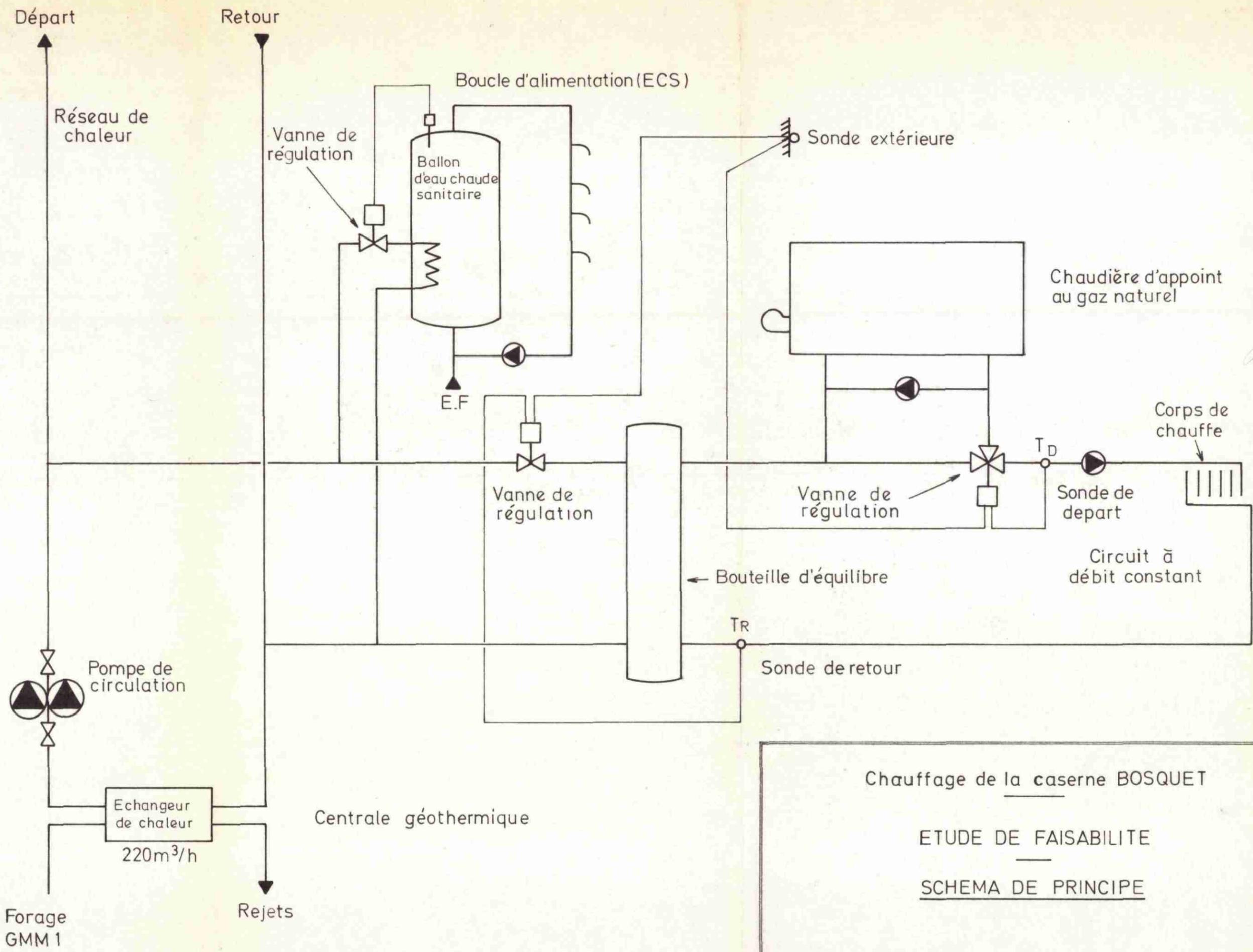
C O N C L U S I O N

Il ressort de cette analyse qu'une récupération de chaleur par la mise en place d'un échangeur seul, permet de dégager une économie d'énergie primaire de 657.tonne équivalent pétrole par an, couvrant 74 % des besoins de chauffage et 100 % des besoins en eau chaude sanitaire.

L'utilisation d'une pompe à chaleur diminue l'intérêt de ce projet, dans la mesure où son seul but est d'élever la température du réseau de chaleur pour uniquement une très faible partie des bâtiments (groupe B : 14 % des besoins et groupe C ; 14 % des besoins).

Cette eau devant être refroidie au niveau des sous-stations du groupe A, l'énergie électrique ainsi dépensée inutilement pénalise les schémas utilisant des pompes à chaleur. La seule possibilité constituerait à mettre éventuellement des pompes à chaleur au niveau des sous-stations des groupes B et C. En fait, les économies supplémentaires ainsi réalisées, faibles au demeurant, ne peuvent pas justifier l'emploi des pompes à chaleur.

Compte tenu de ces premiers résultats, encourageants sur le plan thermique, pour la première solution, l'évaluation du montant des investissements associés à cette opération (échangeur de chaleur, réseau d'eau chaude, aménagement des sous-stations) devra être comparé aux économies financières dégagées sur le poste combustible dont une évaluation est faite après :



Chauffage de la caserne BOSQUET

ETUDE DE FAISABILITE

SCHEMA DE PRINCIPE