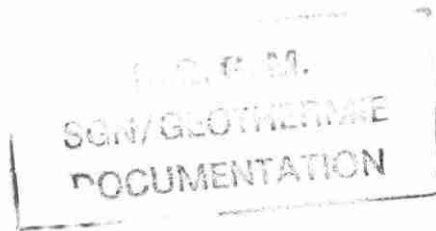




CONSEIL RÉGIONAL CHAMPAGNE ARDENNES
DISTRICT DE REIMS
AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE



**stockage intersaisonnier
de chaleur dans le sol
par "puits à double circulation"**

étude de faisabilité d'un prototype à Cormontreuil
(Marne)

CONSEIL RÉGIONAL CHAMPAGNE ARDENNES
DISTRICT DE REIMS
AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE



**stockage intersaisonnier
de chaleur dans le sol
par "puits à double circulation"**

étude de faisabilité d'un prototype à Cormontreuil
(Marne)

J.-Y. Ausseur
Ph. Jean
J.-P. Sauty

Décembre 1985
85 SGN 584 EAU

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Eau

B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France - Tél.: (33) 38.64.34.34

R E S U M E

Nous présentons les résultats de l'étude d'un stockage de chaleur dans le sol par conduction thermique, l'échangeur étant constitué d'une batterie de puits à double circulation. Un modèle général a été adapté pour simuler le comportement thermique du sous-sol et de l'eau en circulation dans les forages de ce type d'installation, en fonction des diverses stratégies d'exploitation imaginées par le projeteur.

Cet outil a été appliqué à l'étude du prototype qui est envisagé pour chauffer la salle polyvalente de CORMONTREUIL (commune voisine de REIMS, 51) par stockage de calories d'origine solaire.

Cette étude aboutit à la conclusion que sous réserve de validité des hypothèses sur les paramètres physiques du terrain et des caractéristiques du système de capteurs et du dispositif de chauffage un projet comprenant 24 puits de 25 m de profondeur et disposés sur une grille carrée d'espacement 2 m, conduirait après plusieurs années de fonctionnement, à une efficacité du stockage comprise entre 30 % et 40 %.

S O M M A I R E

	Page
INTRODUCTION ET PRESENTATION DU PROBLEME.....	1
I - SOLUTION ANALYTIQUE POUR UN FORAGE UNIQUE.....	3
1.1- DOMAINE DE VALIDITE DE LA SOLUTION ANALYTIQUE PRESENTEE.....	3
1.2- SOLUTION ANALYTIQUE.....	3
II - INTERPRETATION DES PREMIERS RESULTATS DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL (FORAGE UNIQUE).....	5
2.1- PREMIERS RESULTATS.....	5
2.2- INTERPRETATION ET DETERMINATION DU RAYON APPARENT DU PUIITS....	7
III - DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE D'UNE BATTERIE DE FORAGES EN SERIE.....	9
3.1- PRINCIPALES HYPOTHESES ADOPTEES.....	9
3.2- RESOLUTION NUMERIQUE.....	9
3.2.1- <i>Discrétisation de l'espace</i>	11
3.2.2- <i>Conditions aux limites</i>	11
3.2.3- <i>Discrétisation du terme convectif dans les puits</i>	11
3.2.4- <i>Discrétisation du terme conductif dans le sol</i>	13
3.2.5- <i>Résolution et détermination du pas de temps</i>	13
3.3- CONTROLE DE LA PRECISION DU MODELE.....	13
IV - CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION DE SURFACE.....	17
V - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU STOCKAGE.....	19
5.1- DETERMINATION DU VOLUME DE STOCKAGE.....	19
5.2- DETERMINATION DU NOMBRE DE PUIITS.....	20
5.3- DIMENSIONNEMENT DU STOCK.....	21
VI - SIMULATION DE L'EXPLORATION DU DISPOSITIF PROJETE : RESULTATS.....	23
6.1- EVOLUTION DES TEMPERATURES D'INJECTION ET DE SOUTIRAGE (FIG.6).	23
6.2- EVOLUTION DES PUISSANCES EXPLOITEES (FIG.7).....	23
CONCLUSIONS.....	26

INTRODUCTION ET PRESENTATION DU PROBLEME

Le but de l'étude dont nous présentons les résultats dans ce rapport est de dimensionner et de prévoir le comportement d'un stockage intersaisonnier de chaleur utilisant comme réservoir le sous-sol (zone non saturée de la craie).

Le dispositif d'accès au sous-sol est constitué par un certain nombre de puits à double paroi, fonctionnant comme des échangeurs de chaleur.

En phase de stockage, l'eau chaude est injectée au centre d'un forage équipé d'un tube central et remonte par l'espace annulaire, où elle cède au sol une partie de ses calories, puis redescend dans le tubage central d'un second forage, et ainsi de suite. Le circuit est bouclé sur un échangeur. En phase de déstockage, le sens de circulation est inversé.

L'étude de ce dispositif est réalisée dans le cadre du projet d'un site expérimental à Cormontreuil (commune voisine de Reims, Marne). L'énergie estivale à stocker serait d'origine solaire et les besoins de chauffage seraient ceux d'une salle polyvalente (fig. 1).

Pour étudier le comportement thermique d'un stockage et en déduire les économies financières et énergétiques réalisées, il est indispensable de modéliser son comportement à des sollicitations réelles de fonctionnement et donc de définir une stratégie de stockage-déstockage. Nous avons pris en compte les évaluations de l'énergie solaire produite en été (quantité et niveau thermique) et de la demande hivernale pour chauffer la salle par des aérothermes actuellement installés tels que définis par les responsables de l'étude de surface.

L'étude de faisabilité de ce type de stockage de chaleur pour le site expérimental de Cormontreuil a pu être menée à son terme grâce aux résultats de l'étude générale du Projet Corail que nous avons précédemment réalisée pour le compte de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, la ville de Lannion et le Conseil Général des Côtes-du-Nord, (J.Y AUSSEUR, J.P. SAUTY - Projet Corail : Etude générale et conclusions d'ensemble - Rapport BRGM - 83SGN447EAU Orléans) et à l'existence de modèles thermiques antérieurement mis au point au B.R.G.M..

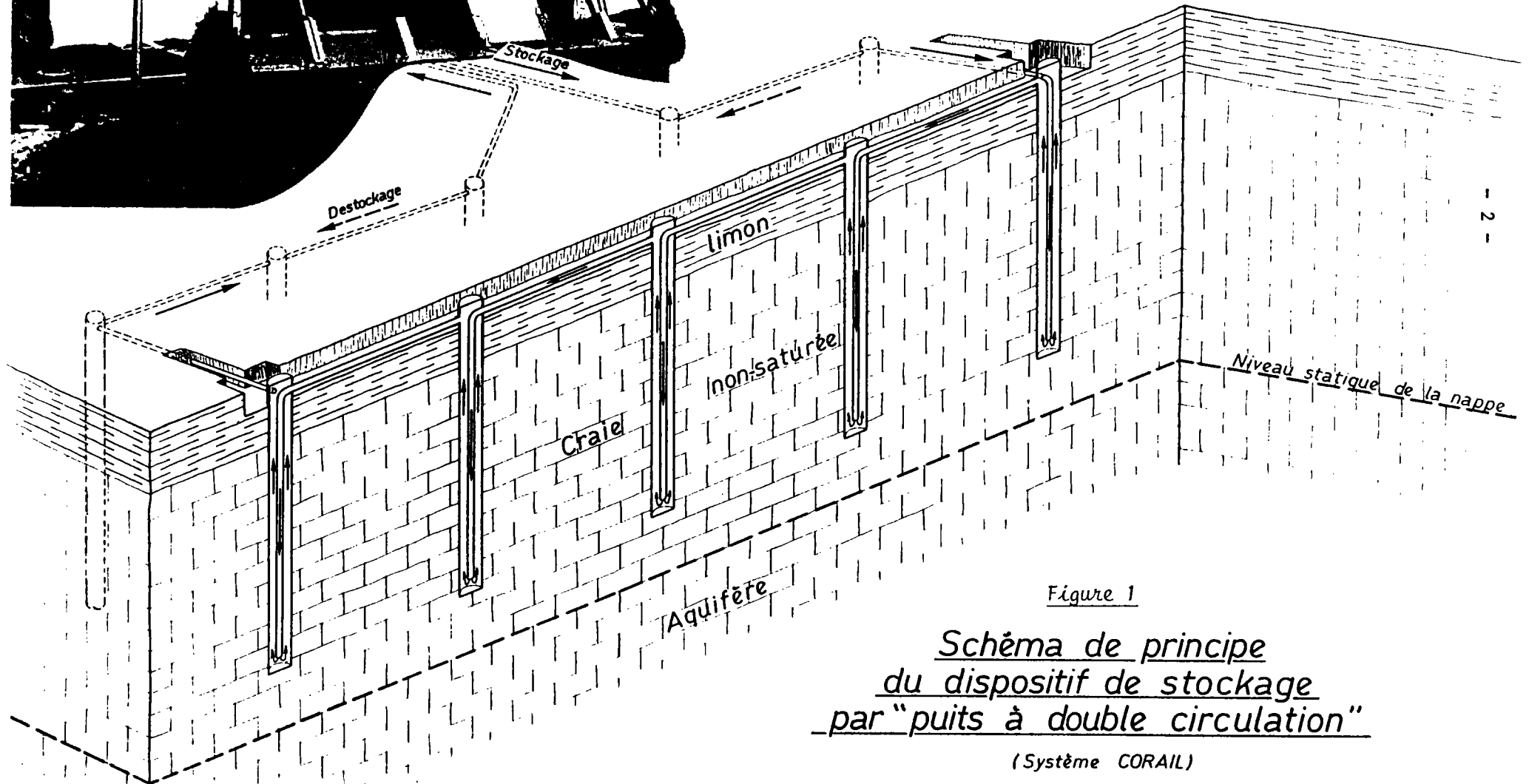
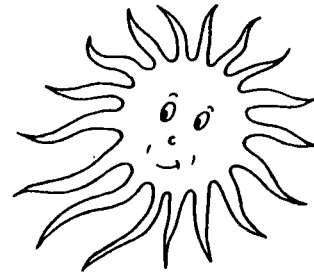
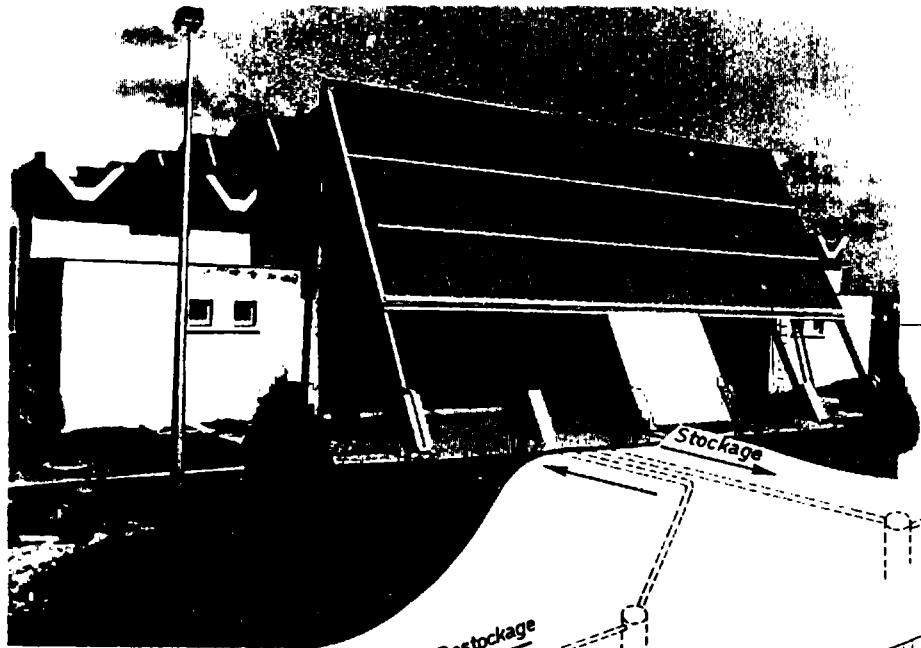


Figure 1

Schéma de principe
du dispositif de stockage
par "puits à double circulation"

(Système CORAIL)

I

SOLUTION ANALYTIQUE POUR UN FORAGE UNIQUE

L'étude du procédé que nous avons dénommé CORAIL (Conduction Radiale en Milieu Illimité) a fait l'objet d'une étude générale, telle que nous l'avons signalé précédemment.

Cette étude a porté sur différentes hypothèses d'exploitation : retour à température constante, extraction d'une puissance variable, descente ou remontée par le tube central. Un code de calcul a été mis au point et vérifié. Des solutions analytiques originales ont été développées ; celles-ci reposent sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices dont l'impact sur la précision des résultats a été contrôlé par rapport au modèle numérique.

Nous présentons ici la solution analytique que nous utilisons pour interpréter les résultats expérimentaux obtenus sur le dispositif actuellement en fonctionnement. Cette même solution analytique permettra de valider sous certaines conditions, le modèle numérique de prévision du comportement thermique d'un stockage par puits multiples.

1.1 - DOMAINE DE VALIDITE DE LA SOLUTION ANALYTIQUE PRESENTEE

- . Gradient géothermique négligeable,
- . Transferts uniquement horizontaux et par conduction dans la roche,
- . Inertie thermique négligeable dans le forage et températures continues entre l'annulaire et la roche encaissante,
- . Exploitation du dispositif à puissance constante.

1.2 - SOLUTION ANALYTIQUE

Variables adimensionnelles :

. temps réduit : $t_R = 4 Dt/ro^2$

. paramètre $P = Q \gamma_f / (4 \pi \lambda h)$

avec :

- λ = conductivité thermique du sol
- γ = capacité calorifique du sol
- $D = \lambda/\gamma$ = diffusivité thermique
- r_o = rayon extérieur du puits
- γ_f = capacité calorifique de l'eau
- Q = débit de circulation à l'intérieur du puits
- h = profondeur du puits
- $\Delta\theta$ = écart de température imposé entre l'entrée et la sortie du puits
- θ_o = température moyenne du sol
- θ_s = température en sortie de puits.

. Solution analytique :

$$\theta_s = \theta_o + \Delta\theta \cdot \frac{1}{1 - \text{Exp}(1/Z)}$$

avec $Z = P \cdot E_1(1/T_R) \sim P \cdot \left[\ln(t_R) - \Gamma \right]$

$$\Gamma \sim 0.57722 \text{ (constante d'Euler).}$$

II

INTERPRETATION DES PREMIERS RESULTATS DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL (FORAGE UNIQUE)

La description du dispositif expérimental conçu par Le Service Géologique Régional Champagne, ainsi que les premiers résultats se trouvent consignés dans un rapport fourni en annexe (A. BAUDOIN, Université des Sciences de Reims).

Nous rappellerons qu'il est constitué d'un échangeur unique de 26 m de profondeur, couplé à une pompe de circulation et à une résistance électrique qui permet de simuler la phase de stockage.

Nous mesurons régulièrement le débit de circulation et les différentes températures de sortie et d'entrée du fluide ainsi qu'à l'intérieur du massif (18 thermocouples ont été installés).

La conductivité thermique du sol a été mesurée en laboratoire. Elle est de l'ordre de 1,9 W/m, K.

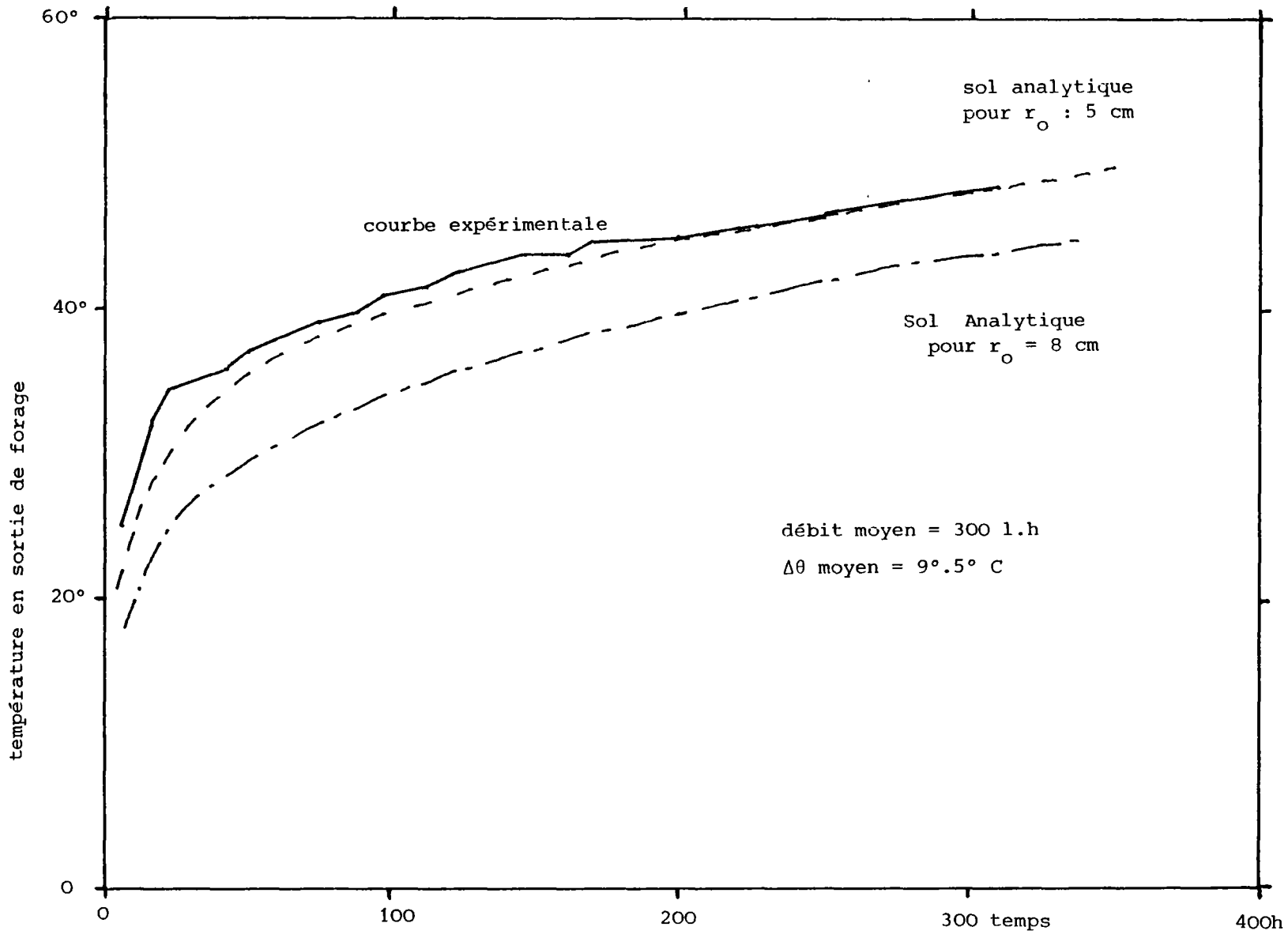
Le rayon extérieur du puits est égal à 16 cm ; cependant, pour tenir compte des différents phénomènes physiques intervenant dans les échanges de chaleur sol-eau à travers les parois protégées des fuites hydrauliques par une "chaussette" en PVC, il est nécessaire de déterminer le rayon apparent. Ce rayon dit *efficace*, plus petit que le rayon réel pour prendre en compte la résistance thermique de passage, devra être pris en compte dans le modèle numérique pour reproduire les échanges thermiques sol-eau.

2.1 - PREMIERS RESULTATS

Les mesures que nous allons interpréter concernent les 14 premiers jours du suivi du dispositif expérimental.

Durant cette période nous avons un débit moyen d'exploitation de 300 l/h et une différence moyenne entre la température de l'eau entrante et sortante du dispositif de 9,5° C.

L'évolution des températures au sein du fluide en circulation et du massif ont été mesurées.



Comparison solution analytique - mesures

Figure 2

2.2 - INTERPRETATION ET DETERMINATION DU RAYON APPARENT DU PUIITS

Nous avons cherché à reproduire les évolutions des températures en sortie du puits.

Pour celà, on a considéré que le dispositif était exploité à puissance constante :

$$P = Q \cdot \gamma_F \cdot \Delta\theta$$

Q est le débit de circulation = 300 l/h = $8.33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

$\Delta\theta$ est la différence de température entre l'entrée et la sortie = 9.5°C .

γ_F est la capacité calorifique de l'eau : $4.18 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3/^\circ\text{C}$

$$\text{d'où } P = 3.31 \text{ kW}$$

La puissance de stockage étant constante, nous pouvons appliquer la solution analytique donnée en 1.2 avec les paramètres suivants :

- . gradient géothermique : négligeable.
- . conductivité thermique du sol : $\lambda = 1.9 \text{ W/m/K}$.
- . capacité calorifique du sol : $\gamma = 2.5 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3/\text{K}$.
- . température naturelle du sol : 11°C .
- . profondeur : 26 m.

La solution analytique a été appliquée pour deux valeurs différentes du rayon extérieur du puits ($r_o = 5 \text{ cm}$ et $r_o = 8 \text{ cm}$), nous avons comparé les résultats aux mesures effectuées (fig. 2).

Nous notons une bonne concordance pour un rayon du puits efficace de 5 cm.

III

DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE D'UNE BATTERIE DE FORAGES EN SERIE

La modélisation est basée sur la résolution d'un système d'équations représentatif des transferts de chaleur, avec ses conditions aux limites et initiales, grâce à des méthodes de calcul numérique. Le recours à une méthode numérique s'est avéré indispensable pour modéliser le schéma complexe d'une batterie de forages en série.

3.1 - PRINCIPALES HYPOTHESES ADOPTEES

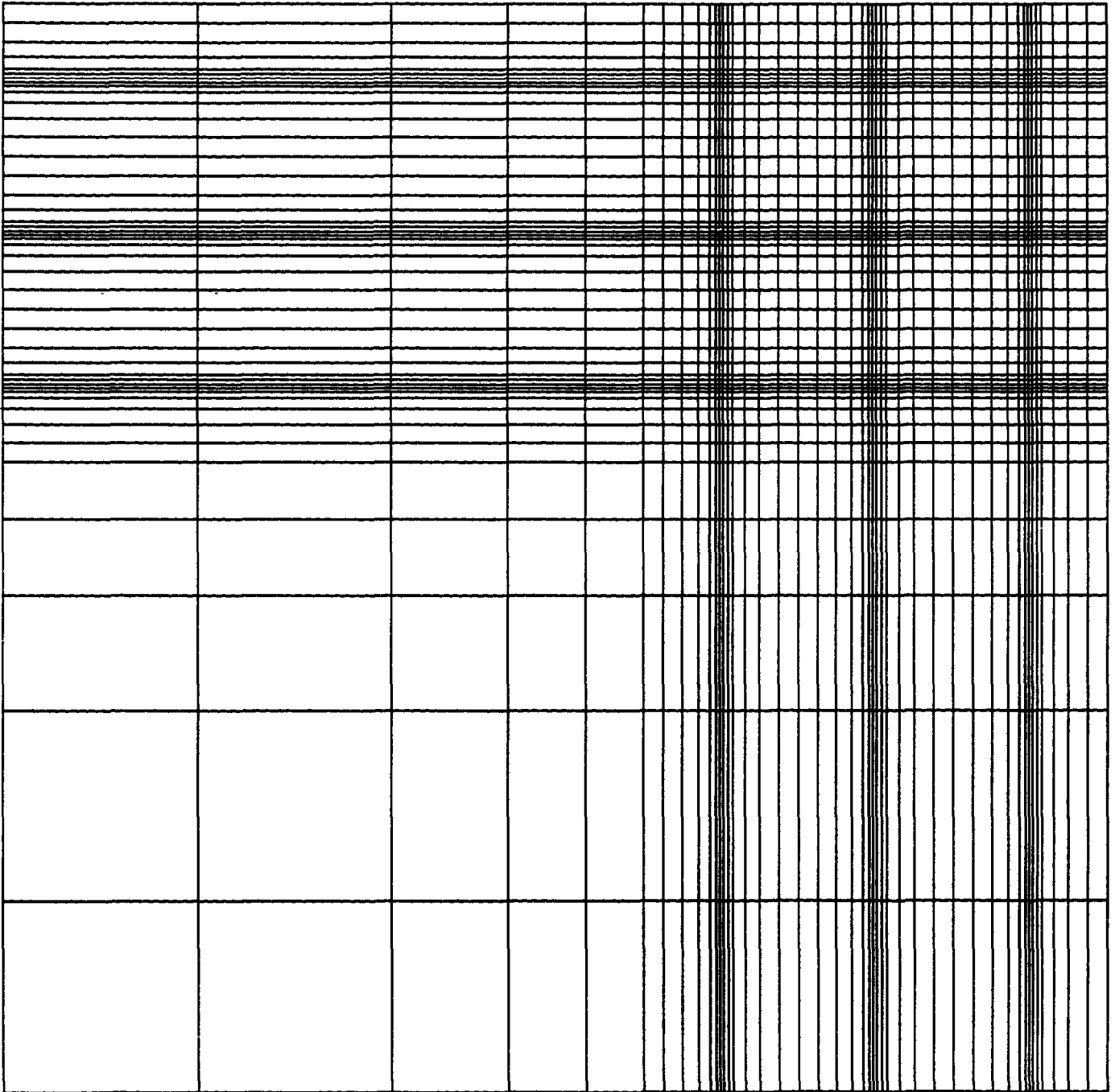
- Les propriétés thermiques du sol et du puits sont uniformes et constantes,
- Le milieu est initialement à température uniforme et constante et le flux géothermique est négligeable.
- Les effets de la conduction verticale dans le sol sont négligeables, seule la conduction horizontale est prise en compte (pas de convections dans le sol).
- Les échanges entre le puits et le sol sont proportionnels à la différence entre la température moyenne de l'eau dans le puits et la température moyenne du sol avoisinant.

3.2 - RESOLUTION NUMERIQUE

Les hypothèses précédentes ont été définies pour permettre une simulation numérique bidimensionnelle horizontale. D'autre part, l'implantation des puits et leur exploitation sont telles que nous avons deux plans verticaux de symétrie passant par l'axe du dispositif et correspondant à des limites adiabatiques (fig. 4). Les transferts thermiques sont régis par l'équation de la chaleur, purement diffusive dans le sol et convective dans les puits. Cette équation est discrétisée par un schéma aux différences finies.

Figure 3

Exemple du maillage utilisé



3.2.1 - *Discrétisation de l'espace*

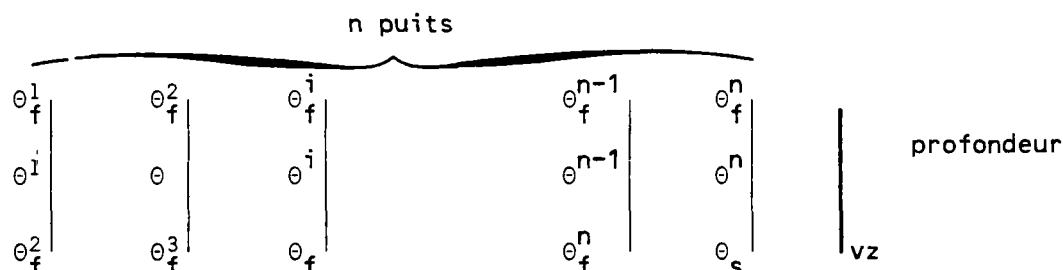
Nous avons adopté un réseau de mailles rectangulaires plus resserré dans les zones où le gradient de température peut être important (voisinage des puits) et plus lâche à la périphérie du domaine étudié (fig. 3). L'épaisseur de ces mailles est égale à la profondeur des puits.

3.2.2 - *Conditions aux limites*

Le schéma de circulation du fluide dans les différents puits doit être défini de telle sorte que les deux plans verticaux de symétrie soient conservés. La température d'injection dans le premier puits est alors égale à celle de sortie du dernier puits augmentée ou diminuée de l'écart de température exploité (puissance imposée mais pouvant varier).

3.2.3 - *Discrétisation du terme convectif dans les puits*

Du fait des plans de symétrie mis en évidence précédemment, nous simulons un quart du stockage. Le débit de circulation dans les n puits placés en série, que nous simulons, est alors égal au quart du débit réel à modéliser.



$\theta_f^1 \dots \theta_f^n$ sont les températures d'entrée dans les n forages,

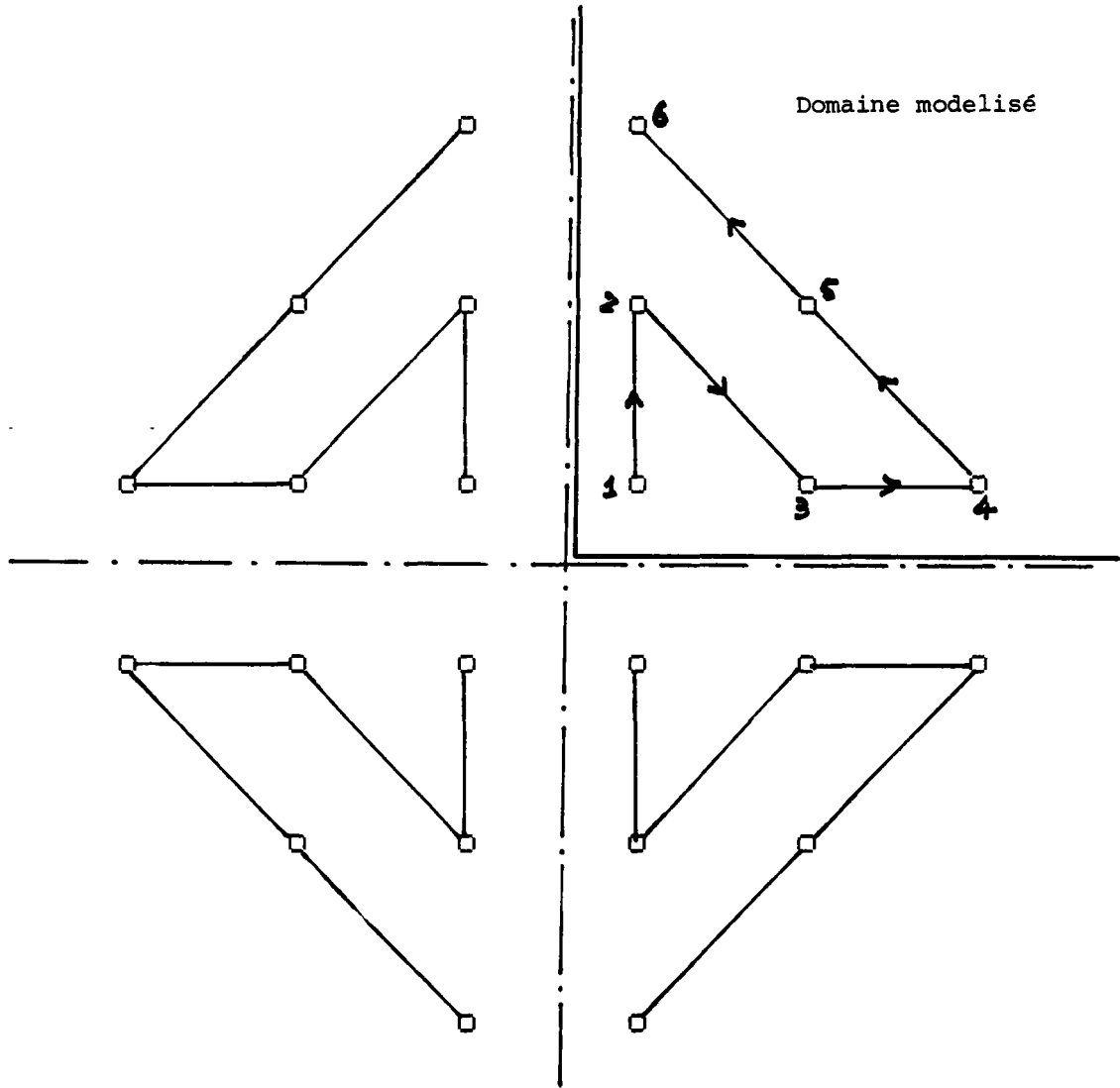
$\theta^1 \dots \theta^n$ sont les températures moyennes du fluide à l'intérieur des puits.

La numérotation des puits de 1 à n est définie par le schéma d'exploitation du stockage (fig. 4).

Chaque puits est représenté par une maille du modèle. Pour chacune, le bilan des quantités de chaleur doit être équilibré à chaque pas de temps.

Figure 4

Schéma d'implantation des puits



L'accroissement de la quantité de chaleur de la maille (liée aux variations de θ^i) est égale à la somme des transferts convectifs verticaux dans le puits $\left(Q \cdot \gamma_f \cdot \Delta t \cdot (\theta_f^i - \theta_f^i) \right)$ et des échanges par conduction avec le sol (fonction de θ^i).

Il est donc nécessaire de disposer de relations pour définir les θ_f^i à partir des θ^i .

Ces relations ont été définies de la manière suivante :

- $\forall i, 1 \leq i < n \quad \left(\theta_f^{i+1} = \theta^i + \theta^{i+1} \right) / 2$
- $\theta_s = (3 \cdot \theta^n - \theta^{n-1}) / 2$ (extrapolation linéaire sur les températures du dernier forage)
- $\theta_f^1 = \theta_s + \Delta\theta$ avec $\Delta\theta = \frac{W}{Q \cdot \gamma_f}$, W puissance exploitée.

3.2.4 - Discretisation du terme conductif dans le sol

L'équation de la chaleur, purement conductive, est discrétisée sur le maillage. Nous écrivons, pour chaque maille, que la variation de quantité de chaleur stockée est égale à la somme des flux échangés avec les 4 mailles voisines.

3.2.5 - Résolution et détermination du pas de temps

La résolution du système d'équations s'effectue par une méthode itérative dont le critère de convergence est la différence maximale sur le domaine des températures calculées entre deux itérations successives. Cette différence doit rester inférieure à une valeur introduite par l'utilisateur.

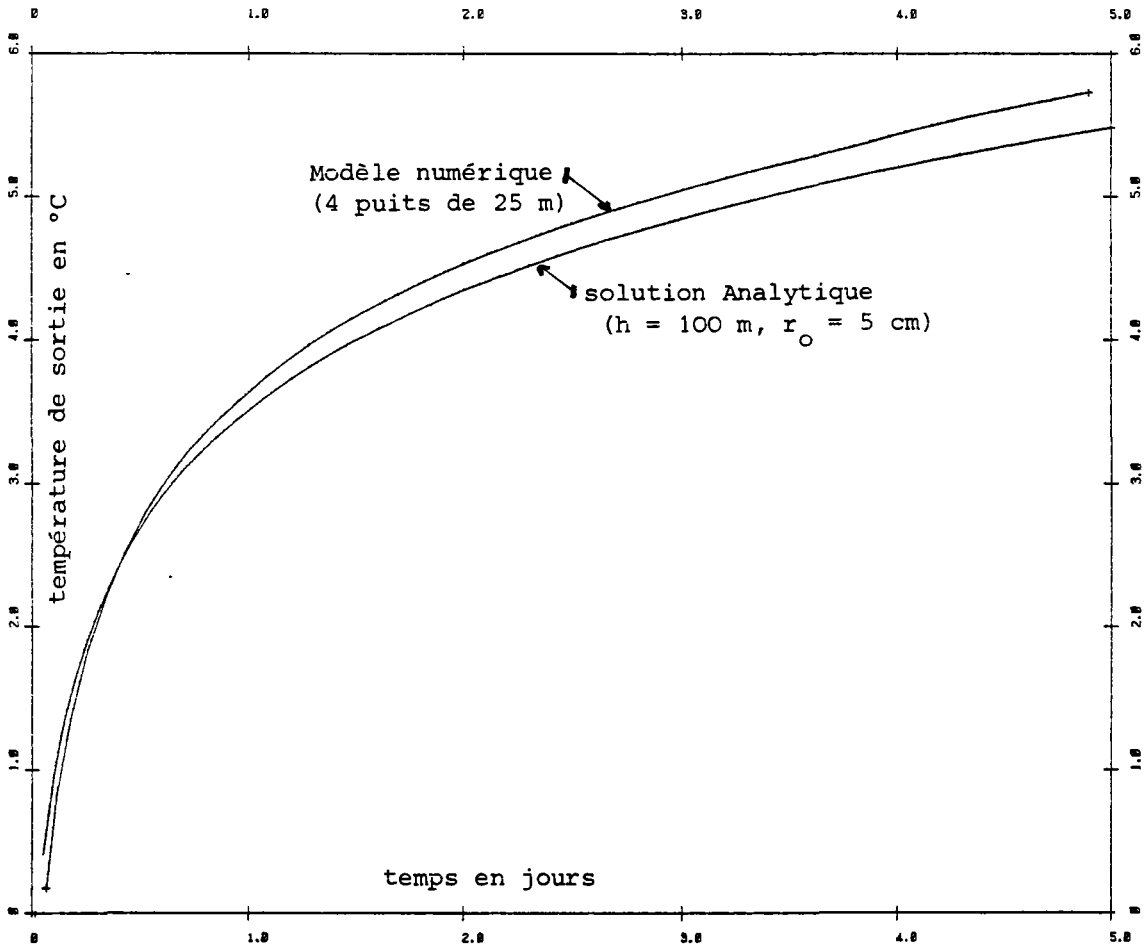
Le pas de temps est progressivement incrémenté (ou décrémenté) de telle sorte que le nombre d'itérations nécessaires à la convergence de la résolution numérique reste voisin d'une valeur fixée.

3.3 - CONTROLE DE LA PRECISION DU MODELE

La précision du modèle numérique a été contrôlée en comparant les températures de l'eau en sortie du forage calculées par le modèle avec celles obtenues à partir de la solution analytique correspondant à une exploitation à puissance constante d'un puits qui aurait comme profondeur la somme des profondeurs des puits constituant le stockage. Les deux solutions doivent être alors confondues

Figure 5

Comparaison des solutions Analytique et numérique



pendant toute la phase initiale, tant que les puits se comportent comme s'ils étaient uniques, sans influence thermique.

- caractéristiques du test

- . absence de gradient géothermique,
- . 16 puits de 25 m disposés de telle sorte qu'il existe deux plans verticaux de symétrie,
- . $\lambda = 2.5 \text{ W/m/K}$,
- . $\gamma_s = 2.5 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3/\text{K}$
- . débit total = $2.8 \text{ m}^3/\text{h}$ (= 4×0.7)
- . Puissance stockée = 16.25 kW ($4.6 \text{ kW} \times 4$).

- Résultats (fig. 5)

La différence entre les deux méthodes de résolution reste minime. Elle provient de la discrétisation du modèle numérique qui approche imparfaitement la réalité physique au voisinage immédiat des puits. En augmentant le nombre des mailles donc en affinant la discrétisation on a pu réduire cette différence. La discrétisation adoptée est donc un compromis pour obtenir une précision satisfaisante tout en se limitant à des temps d'ordinateur acceptables.

IV

CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION DE SURFACE

Pour étudier le comportement thermique du stockage, il est nécessaire de se fixer des conditions réalistes de fonctionnement, mais toutefois schématisées pour ne pas compliquer inutilement les simulations à un stade où l'on vise l'obtention d'ordres de grandeur. Le dimensionnement du dispositif et surtout la rentabilité énergétique du système seront étroitement liés aux critères d'exploitation.

Période de stockage :

Nous supposons que la charge thermique du stock s'effectue à puissance constante et égale à 287 kwh/jour durant 5 mois (de mai à septembre). La température d'entrée dans le stockage étant elle aussi constante et égale à 40° C. Ce sera donc le débit moyen quotidien qui va s'accroître en même temps que s'élèvera la température de retour du stock (en début de période, cette température sera égal à 12° C qui est la température naturelle du sol).

Période de déstockage :

Les besoins en chauffage de la salle polyvalente sont variables au cours de l'hiver. Ils ont été estimés mois par mois aux valeurs suivantes :

MOIS	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Puissance moyenne en kW	2.08	4.86	6.67	7.22	6.11	4.86	3.2

La température en sortie de la boucle de chauffage sur laquelle sont connectés les aérothermes est de 20°C. C'est à cette température que l'eau est retournée vers le stockage. On ne peut donc exploiter le stock que si la température de soutirage est supérieure à 20° C. Ce sont des conditions de fonctionnement assez difficiles qui ne peuvent qu'entraîner une efficacité réduite du dispositif de stockage.

V

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU
STOCKAGE

La profondeur des puits à réaliser est liée à l'épaisseur de la zone non saturée de la craie. La zone saturée est sujette à des écoulements qui risqueraient de "lessiver" le stock thermique, elle ne peut donc pas être exploitée dès que dans les nappes les vitesses de Darcy dépassent quelques m/an pour un stock de la dimension envisagée ici.

Nous utiliserons donc des puits de 25 m de profondeur.

Le rayon des puits doit être défini après discussion sur arguments économiques et technologiques et non pas uniquement à partir d'arguments liés à l'efficacité de l'échangeur que constitue le forage. En effet, un accroissement du rayon améliore les échanges entre le fluide et le sol mais pas en proportion du surcoût d'équipement. Il serait alors préférable d'investir ce surcoût dans des forages supplémentaire (1)

Restedonc à déterminer le nombre de puits et leur espacement, compte-tenu de la quantité de chaleur à stocker et à déstocker.

Pour cela, il est nécessaire de définir :

- le volume de sol que le stockage doit concerner pour stocker l'énergie en période estivale,
- la densité des puits pour accéder à la totalité du réservoir.

5.1 - DETERMINATION DU VOLUME DE STOCKAGE

L'énergie à stocker en été a été estimée à 43 900 kW/h (cf. IV).

(1) (cf. étude CORAIL) Ref voir introduction.

Le niveau thermique du stock est au maximum de 40° C en fin de période de charge, tandis qu'en hiver le stock ne peut être exploité que si la température de sortie de l'eau est supérieure à 20° C.

Le volume de sol nécessaire pour stocker cette énergie, par élévation de sa température de 20° C, est égale à :

$$V = Q / (40 - 20) \gamma_s$$

Q = quantité de chaleur :

$$Q = 43.9 \cdot 10^6 \text{ wh} = 1.58 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

γ_s capacité calorifique du sol :

$$\gamma_s = 2.5 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3/\text{k}$$

$$\text{d'où } V = 3160 \text{ m}^3$$

Ce volume correspond à un cylindre de 25 m de hauteur et de 6,3 m de rayon.

5.2 - DETERMINATION DU NOMBRE DE PUIITS

La densité des puits doit être telle que l'on puisse soutirer le maximum des calories stockées. La puissance moyenne extraite par mètre d'échangeur est égale à :

$$\phi = \frac{2\pi\lambda \Delta\theta}{\ln\left(\frac{R}{r_0}\right)}$$

avec R : le rayon d'influence du puits pour lequel nous avons une différence de température égale à $\Delta\theta$ avec la température du sol au contact du puits

On se fixe $\Delta\theta = 2^\circ\text{C}$ pour $R = 1.13$ (équivalent à un carré de 2m de côté)

$$\text{d'où } \phi = 7.66 \text{ W/m}$$

En période hivernale, la puissance moyenne est égale à 5 kW. Ce qui correspond environ à 650 m d'échangeur.

5.3 - DIMENSIONNEMENT DU STOCK

La configuration présentée précédemment (fig. 4) vérifie les critères définis plus haut. Elle se compose de 24 puits de 25 m espacés de 2 m les uns des autres.

Si nous considérons que chaque puits intéresse une surface de 2 m sur 2 m (condition non réaliste pour les puits périphériques). Le rayon total du stockage est alors d'environ 6 m et vérifie donc la condition énoncée au paragraphe V.1. De plus la longueur cumulée d'échangeur installé est alors de 600 m pour un rayon moyen d'influence de 1,13 m : la condition du paragraphe V.2 est aussi vérifiée. Nous avons donc une indication favorable sur la faisabilité de l'opération, la mise en oeuvre du modèle mathématique va permettre d'en préciser la validité.

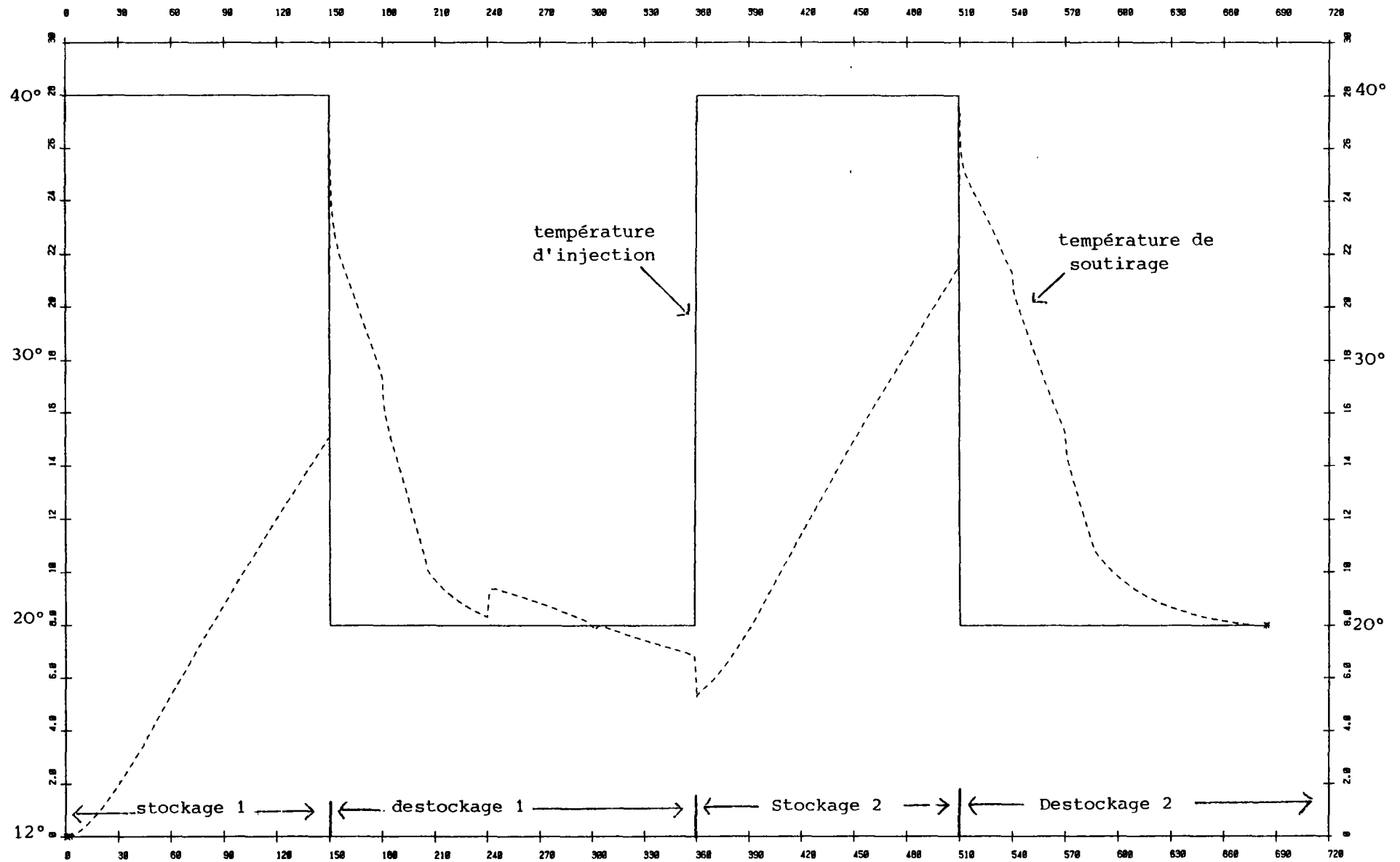


Figure 6

Evolution des températures d'injection et de soutirage pour la simulation définitive.

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DU DISPOSITIF PROJETE : RESULTATS

Les caractéristiques d'exploitation du stockage sont définies au chapitre V, de même que la disposition et le nombre de puits pris en compte (fig. 4).

Le modèle numérique a été utilisé pour simuler deux années d'exploitation successives.

Les résultats peuvent être synthétisés sous la forme de deux graphiques :

6.1 - EVOLUTION DES TEMPERATURES D'INJECTION ET DE SOUTIRAGE (FIG. 6)

La première année correspond surtout à un préchauffage du stock ; nous commenterons donc seulement la seconde année de fonctionnement.

En début de stockage, la température de sortie du stock est seulement de 17°C à cause des pertes thermiques durant les quatre derniers mois de la période hivernale précédente. Elle s'élève à 33°C en fin de stockage ; on peut alors estimer que la température moyenne du stockage est comprise entre 33° et 40° C (température de sortie des capteurs solaires).

En phase d'exploitation, l'eau en sortie de la boucle de chauffage est retournée au stockage avec une température de 20° c. Elle est réchauffée en traversant les 24 puits pour ressortir à une température en début d'hiver de 37°c ; celle-ci va rapidement chuter jusqu'à 20° C.

6.2 - EVOLUTION DES PUISSANCES EXPLOITEES (FIG. 7)

En été, la puissance moyenne de stockage est fixée à 287 kWh par jour. En réalité, elle est très variable en fonction de l'ensoleillement, mais on peut estimer que sa variabilité ne va modifier que sensiblement les résultats de la simulation.

L'énergie totale injectée pendant les 5 mois est égale à 43 MWh.

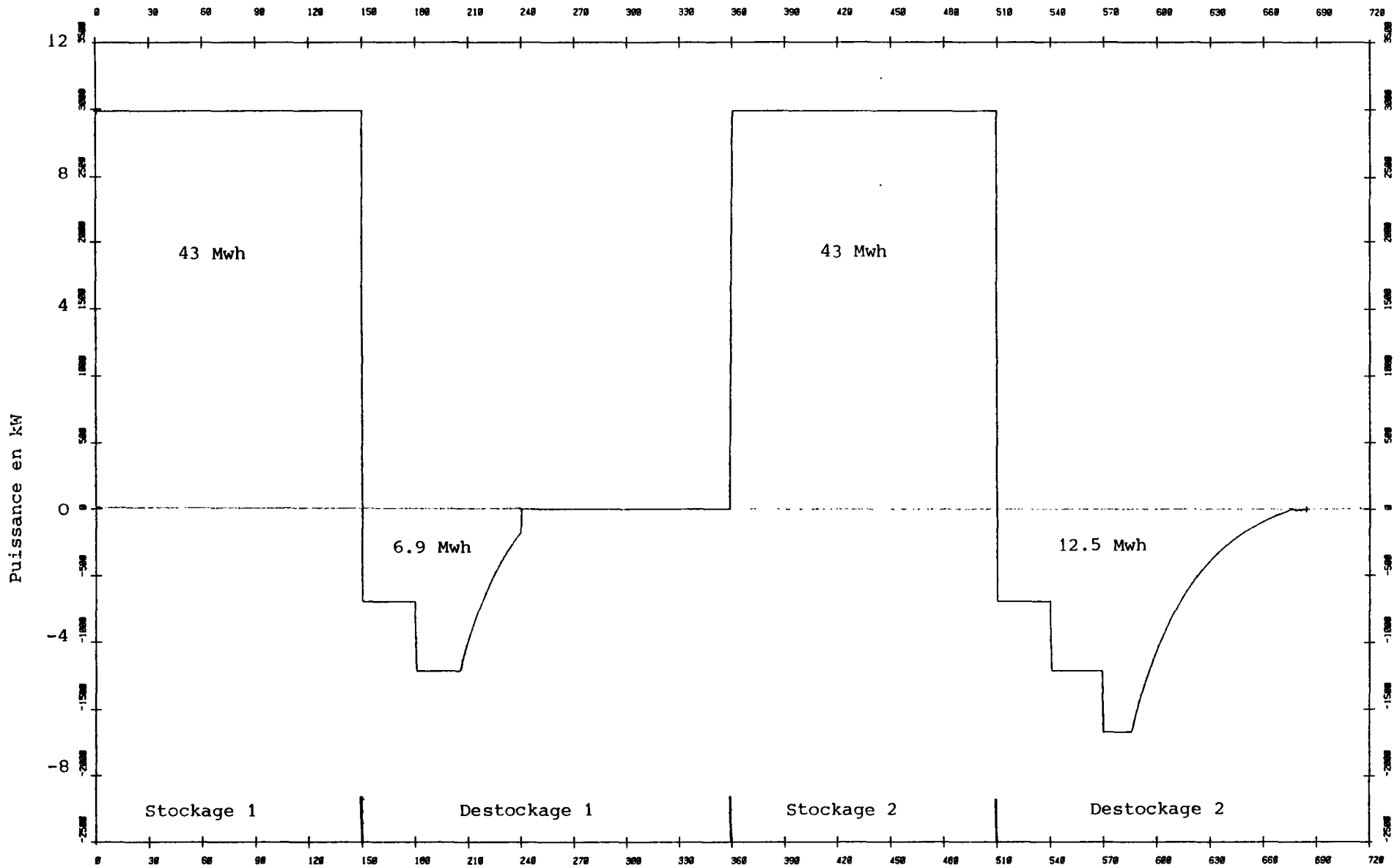


Figure 7

Evolution des puissances exploitées

La première année 6,9 MWh seulement sont récupérés, tandis que la seconde année on atteint 12,5 MWh. Cette dernière valeur correspond à une efficacité du dispositif de stockage de 29 %.

On remarque que dès le 15 décembre le système ne peut plus satisfaire la totalité de la demande et qu'au 15 février le stockage ne peut plus être utilisé.

Les années suivantes, l'efficacité devrait s'améliorer sans toutefois dépasser 40 % .

CONCLUSIONS

Le dispositif de stockage a pu être dimensionné pour satisfaire au mieux les contraintes d'exploitation liées à la production solaire des calories d'été et au chauffage de la salle polyvalente par des aérothermes.

Dans ces conditions, nous avons montré que pour un dispositif composé de 24 puits de 25 m de profondeur espacés de 2 m les uns des autres sous réserves de validité des hypothèses de fonctionnement, on aurait une efficacité (rapport entre l'énergie destockée et celle stockée) de stockage comprise, après quelques années de fonctionnement entre 30 % et 40 %.

Le modèle numérique mis au point pour réaliser cette étude est tout à fait général, et peut donc être utilisé pour étudier une autre configuration des forages ou pour effectuer d'autres études de faisabilité sur des sites différents de ce type de stockage intersaisonnier de chaleur dans le sol par "puits à double circulation".

réalisation
service
reprographie
du BRGM

