UTILISATION DE CARRIERES SOUTERRAINES DE LA REGION PARISIENNE POUR STOCKAGE INTERSAISONNIER D'ENERGIE SOLAIRE POUR L'HABITAT.

USING OLD UNDERGROUND QUARRIES IN PARIS AREA FOR INTERSEASONAL STORAGE OF SOLAR ENERGY, FOR HOUSING.

ARNOULD M., DEVEUGHELE M., EFFORSAT J., Centre de Géologie de l'Ingénieur commun à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 60 Boulevard Saint Michel, 75 272 - Paris cedex 06 (France).

Extrait du Bulletin de l'Association internationale de géologie de l'ingénieur — N° 28 — 1983

La ville de Paris et sa banlieue comportent de nombreuses anciennes carrières souterraines qui posent des problèmes de stabilité du sol. On peut chercher à les consolider tout en les utilisant pour stocker de l'eau chauffée par des capteurs solaires en vue du chauffage de bâtiments.

Dans le cadre d'un projet de construction d'une école maternelle à Sèvres (Hauts-de-Seine), une étude fine, à l'aide d'un modèle par différences finies, des transferts thermiques dans le stock d'eau non isolé et le massif rocheux encaissant, met en évidence la participation de celui-ci à la fonction de stockage. Un tel projet semble faisable à condition d'exploiter le stock à un bas niveau thermique.

The city of Paris and its suburbs are riddled with former underground quarries which pose problems of soil stability. These quarries can be consolidated and used to store water heated by solar collectors to heat buildings.

In the framework of a preelementary school building project in Sèvres (Hauts-de-Seine department), a detailed analysis of heat transfers in the uninsulated water storage and the containing bed rock, using a finite difference model, demonstrated participation of the rock to the storage function. Such a project appears feasible provided the water store is exploited at a low thermal level.

Introduction

L'utilisation, pour stocker de l'eau chaude, de vides laissés par d'anciennes exploitations souterraines de matériaux à la verticale de sites, aujourd'hui intégrés au tissu urbain, est une idée a priori d'autant plus séduisante qu'il est envisageable de coupler la réalisation de la structure de stockage avec l'indispensable confortement de ces vides. Des études préalables sont cependant nécessaires pour juger la faisabilité technique et surtout économique d'une telle opération. Elles concernent d'une part les modalités pratiques de mise en place de la structure, sa stabilité, son étanchéité, etc., et d'autre part le comportement thermique du stockage qui est largement conditionné par la nature et l'importance des transferts thermiques dans le massif rocheux encaissant. C'est de ce second aspect que traite l'étude présentée, en s'appuyant sur un projet particulier à Sèvres, en région parisienne, avec le double souci d'apprécier les performances du système et son impact sur l'environnement.

1. Présentation de l'étude

A Sèvres (Hauts de Seine), commune de l'agglomération parisienne, à 11 km du Centre de la Ville de Paris, où on projette la construction d'une école maternelle de huit classes, se trouve une ancienne carrière souterraine de calcaire (Calcaire Grossier du Lutétien) exploité comme pierre de taille. Les concepteurs du projet prévoient pour le bâtiment une architecture bioclimatique à laquelle le site,

un flanc de vallée orienté au S.E., est particulièrement favorable. Ils envisagent l'installation d'un système de chauffage solaire. Un stock intersaisonnier d'eau chaude pourrait trouver place dans deux galeries de la carrière souterraine. Celles-ci, d'accès facile, ont la forme de deux parallélépipèdes allongés et parallèles, d'un volume de 320 m³ chacun ($L = 27$ m ; $l = 4$ m ; $h = 3$ m), situés sur un même niveau et séparés par 3 m de calcaire non exploité. L'épaisseur moyenne du recouvrement des galeries constituée de calcaire avec, en surface, une couche peu épaisse de limon sableux, est de 16,5 m (fig. 1).

Fig. 1 : Implantation de la carrière souterraine.

En raison de l'étalement des études et travaux relatifs au bâtiment sur plusieurs années, peu de données précises étaient disponibles à l'époque où l'étude a été engagée. On a donc retenu un schéma simplifié pour l'installation de chauffage solaire qui comporte quatre éléments (fig. 3) :

Fig. 2 : Evolution au cours de l'année des besoins en chauffage du bâtiment (volume : 3 500 m³ ; coefficient de déperdition volumique $G = 0,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$) et des apports solaires valorisables par 300 m² de capteurs solaires simples (inclinaison : 45° ; orientation S-SE ; rendement global de l'installation $\eta = 0,36$).

- des capteurs solaires ;
- des émetteurs de chaleur à basse température (35 °C), à l'intérieur du bâtiment ;
- un stock tampon de 10 m³ dans le bâtiment ;
- un stock intersaisonnier d'eau chaude dans deux cuves de 320 m³ chacune réalisées dans les galeries de la carrière.

La figure 2 donne les besoins en chauffage du bâtiment ainsi que les apports solaires valorisables par 300 m² de capteurs solaires à eau. En fonction de ces éléments, on a adopté le schéma de fonctionnement suivant en régime normal :

- en saison chaude (20 mai-30 septembre), on charge le stock intersaisonnier : l'eau du stock tampon chauffée par

les capteurs solaires est vidangée deux fois par jour dans le stock intersaisonnier ; sa température au moment de la vidange T_{vid} est fixe ; c'est l'un des paramètres de l'étude ;

- en saison froide (1^{er} novembre-28 février), la chaleur nécessaire au chauffage du bâtiment est directement prélevée sur le stock intersaisonnier dès la 2^e année de fonctionnement ; cette décharge du stock est traduite par un abaissement journalier fixe de la température de l'eau de chacune des deux cuves égal à ΔT ;

- en demi-saison (octobre et 1^{er} mars-20 mai), le stock tampon fonctionne en stock de courte durée et le stock intersaisonnier est isolé (période d'attente). On suppose enfin que la première année de fonctionnement le stock intersaisonnier n'est pas sollicité en raison froide ($\Delta T = 0$).

Les hypothèses faites tant sur l'installation elle-même que sur le principe de son fonctionnement, pour particulières qu'elles soient, n'ont en tout état de cause qu'une influence assez faible sur la partie essentielle de l'étude qui concerne le comportement du stock enterré et les facteurs qui le déterminent. Ces hypothèses devront bien entendu être adaptées aux caractéristiques finales du bâtiment.

2. Caractéristiques du modèle

La modélisation du stockage s'appuie sur l'analyse des transferts thermiques à l'intérieur des cuves et dans le massif rocheux encaissant.

En ce qui concerne les transferts thermiques, une approche basée sur la théorie des jets et des sillages montre que dans la mesure où on écarte tout dispositif constructif visant à créer artificiellement une stratification thermique dans les cuves, on peut raisonnablement faire l'hypothèse d'un brassage total de l'eau lors de la vidange du stock tampon dans le stock intersaisonnier et en conséquence d'une température de l'eau uniforme dans chaque cuve. On peut toutefois, dans le cas particulier étudié, espérer créer et maintenir facilement une différence de température entre les deux cuves, qui soit favorable au rendement du système de captage. Pour ce faire, en période de charge, on vidange systématiquement le stock tampon dans la cuve "chaude" (cuve 1) tandis qu'on le réalimente avec l'eau de la cuve "froide" (cuve 2). La mise en communication des deux cuves est limitée au temps nécessaire au rééquilibrage des volumes d'eau qu'elles contiennent. C'est cette hypothèse qualifiée de "demi-brassage" que nous avons retenue.

Dans le massif rocheux encaissant, la transmission de la chaleur est assurée par divers mécanismes, principalement par conduction dans la matrice solide et l'eau d'une part, et par convection en liaison avec des mouvements de fluides comme, par exemple, l'infiltration des eaux météoriques d'autre part. Dans le cas particulier, le milieu est supposé purement conductif, homogène et isotrope. Dans ces conditions son état thermique est régi par l'équation de la chaleur, soit :

$$\text{div} (\lambda \text{ grad } T) = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}$$

avec :

t le temps en s

T la température en °K

ρ la masse volumique du milieu (ici : 2 200 kg . m⁻³)

C la chaleur spécifique du milieu (ici : 860 j . kg⁻¹ . K⁻¹)

λ la conductivité thermique du milieu (ici : 1,5 à 2,5 W . m⁻¹ . K⁻¹).

L'intégration numérique de l'équation de la chaleur a été réalisée en utilisant un schéma aux différences finies. La

Fig. 3 : Schéma de principe de l'installation de chauffage solaire avec stock intersaisonnier.

méthode implicite a été retenue pour la discrétisation de la dérivée $\partial T / \partial t$. Le système d'équations linéaire obtenu a été résolu par une méthode itérative en utilisant un algorithme de type Gauss Seidel.

Le domaine d'intégration $\mathcal{D}$ est limité d'une part par les parois des cuves et d'autre part par une surface constituée des éléments suivants :

- un plan horizontal situé à 20 m sous les cuves et au niveau duquel la température a une valeur constante de 11°C ;
- la surface topographique représentée par un plan horizontal situé à 16,5 m au-dessus des cuves au travers duquel on impose une condition de flux thermique de la forme $F_s = A - BT$, où T est la température de la roche en surface et A et B des coefficients qui ne dépendent que des conditions météorologiques et de l'albedo (pris égal à 0,25) et qui ont été calculés et tabulés par décades à partir des résultats fournis par la station météorologique de Trappes (à 16 km du site) ;
- quatre plans verticaux situés à 20 m des limites externes du système des deux cuves et au niveau desquels on a imposé une condition de flux nul. Au-delà, la température est celle correspondant au régime naturel.

Le flux thermique à travers les parois des cuves a été posé égal à : $F_c = h(T_{\text{eau}} - T_{\text{roche}})$ où T est la température de l'eau dans la cuve, T_{roche} la température de la roche

au contact de la cuve et h un coefficient d'échange pour lequel les valeurs suivantes ont été adoptées après études particulières :

- sur les parois verticales des cuves, $32 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- sur la paroi horizontale inférieure, $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- sur la paroi horizontale supérieure, $40 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Un maillage tridimensionnel a été conçu pour tenir compte de la géométrie du système de cuves (fig. 4). Le pas varie dans une section perpendiculaire à l'allongement des cuves en fonction de la distance à la cuve : serré à proximité, il est plus lâche à plus grande distance. Dans le sens de l'allongement, il varie également en fonction de la distance aux extrémités des cuves. On peut le représenter par un système d'enveloppes centrées sur les cuves et emboîtées par séries. Au total, le maillage comporte 9 108 nœuds.

Le pas de temps retenu est de 6 heures en période de charge (saison chaude) et de un jour en période d'attente et de décharge (demi-saisons ; saison froide).

Les conditions initiales, qui ne dépendent que de la profondeur, ont été déterminées par simulation à l'aide d'un maillage unidimensionnel.

Les programmes ont été exploités sur un ordinateur IRIS 80.

3. Analyse de quelques simulations particulières – Résultats

Le modèle ainsi établi a permis de mener plusieurs simulations en faisant varier les paramètres suivants :

- T_{vid} , température de vidange du stock tampon dans le stock intersaisonnier en période de charge (saison chaude), qui est directement liée à la quantité de chaleur fournie annuellement au stock Q_s ($T_{\text{vid}} = 50^{\circ}\text{C}$ la première année de fonctionnement ; $T_{\text{vid}} = 60^{\circ}\text{C}$ ou 80°C les années suivantes) ;
- ΔT , abaissement journalier de la température de l'eau de chaque cuve en période de décharge, qui est liée à l'énergie déstockée pendant la saison froide Q_D ($\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ la première année ; $\Delta T = 0^{\circ}\text{C} - 0,5^{\circ}\text{C}$ ou 1°C les années suivantes) ;
- γ conductivité de la roche ($\gamma = 1,5$ ou $2,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Nous présenterons les résultats obtenus en termes d'évolution des températures plus directement accessibles que des résultats exprimés en flux.

L'étude de l'évolution en différentes circonstances de la température de l'eau dans les cuves renseigne sur les possibilités et conditions réelles d'utilisation du stockage. Les résultats relatifs à l'évolution de la température au sein du massif rocheux permettent d'apprécier son rôle dans la fonction stockage et d'évaluer l'impact thermique du stockage sur l'environnement.

3.1. Etude de l'évolution de la température de l'eau des cuves

3.1.1. Mise en température initiale du stock

On a d'abord examiné l'effet d'une charge prolongée du stock pendant trois années consécutives ($T_{\text{vid}} = 60^{\circ}\text{C}$, aucune utilisation n'intervenant en raison froide ($\Delta T = 0$). La figure 5 montre l'évolution de la température dans la cuve "chaude" (cuve 1). Dès la deuxième année de fonctionnement, le régime d'équilibre est pratiquement atteint. Une année suffit donc à la mise en température du stock. En fin de saison de charge, au 1^{er} octobre, l'eau du stock

Fig. 4 : Principe général du maillage tridimensionnel autour des deux cuves.

Fig. 5 : Evolution de la température de l'eau de la cuve 1 au cours des trois premières années de fonctionnement, dans l'hypothèse où le stock intersaisonnier n'est pas sollicité en saison froide ($\Delta T = 0$) et pour une conductivité de la roche égale à $2,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (T_{vid} = Température de vidange du stock tampon).

atteint 42°C . Sa température n'est plus que d'environ 30°C au 1^{er} novembre, en début de saison froide, température nettement insuffisante pour une utilisation directe dans un système de chauffage même à basse température. La température dans la cuve 2 "cuve froide" est, au 1^{er} octobre, inférieure de 10°C à celle de la cuve 1 (de 4°C au 1^{er} novembre), ce qui confirme le caractère favorable du dispositif de couplage des cuves adoptés pour le fonctionnement des capteurs solaires.

Une augmentation de la quantité de chaleur fournie au stock ($T_{\text{vid}} = 80^\circ\text{C}$) ne modifie pas sensiblement les résultats : la température de la cuve 1 est au 1^{er} novembre de 37°C , température encore insuffisante pour une utilisation directe pour le chauffage.

Une conductivité du massif rocheux plus faible ($\lambda = 1,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) se traduit par une augmentation de la température de l'eau du stock de 2°C seulement au 1^{er} novembre. Les incertitudes quant à la valeur de cette conductivité influenceront donc peu sur le dimensionnement du système.

3.1.2. Effets de la décharge du stock en saison froide

Après une première année de préparation du stockage ($T_{\text{vid}} = 50^\circ\text{C}$; $\Delta T = 0$) et une saison chaude de mise en température ($T_{\text{vid}} = 60^\circ\text{C}$; $Q_s = 240 \text{ GJ}$), le stock est sollicité après un mois d'attente, à partir du 1^{er} novembre. La figure 6 décrit l'évolution de la température de l'eau de la cuve 1 pour deux taux de décharge : $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}/\text{jour}$ (soit $Q_D = 136 \text{ GJ}$) et $\Delta T = 1^\circ\text{C}/\text{jour}$ (soit $Q_D = 270 \text{ GJ}$). On a représenté sur la même figure l'abaissement de la température de l'eau dans l'hypothèse

Fig. 6 : Evolution de la température de l'eau dans la cuve 1 au cours de la deuxième année de fonctionnement (avec $T_{\text{vid}} = 50^\circ\text{C}$ la 1^{ère} année et $T_{\text{vid}} = 60^\circ\text{C}$ la 2^e année) avec diverses hypothèses sur la conductivité de la roche λ , et sur le taux journalier de décharge ΔT .

où, à partir du 1^{er} novembre, la cuve est parfaitement isolée.

Pour le taux de décharge $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}/\text{jour}$, la température de l'eau de la cuve 1 passe au cours de la saison froide de $29,2^\circ\text{C}$ à $10,7^\circ\text{C}$, température qui serait atteinte dès le 15 décembre si le stock était parfaitement isolé pendant cette saison. Elle remonte ensuite à 14°C au début de la saison chaude suivante, le 20 mai. La température de l'eau dans la cuve 2 est à cette date pratiquement identique à celle de la cuve 1 ($13,6^\circ\text{C}$). Ces températures sont à comparer à celles obtenues en l'absence de décharge soit 18°C dans la cuve 1.

Pour un taux de décharge $\Delta T = 1^\circ\text{C}/\text{jour}$, la température en fin de saison froide n'est que très légèrement supérieure à 0°C . Ce taux est manifestement un peu trop fort bien qu'au 20 mai la température de l'eau soit remontée à 10°C .

Si le niveau thermique de l'eau est insuffisant pour une utilisation directe, on constate toutefois que l'effet d'une décharge est compatible avec une utilisation du stock en "stock froid", celui-ci étant, par exemple, relié à l'évaporateur d'une pompe à chaleur destinée à en relever le niveau thermique pour alimenter un chauffage basse température. Une telle utilisation pourrait d'ailleurs se contenter de températures plus basses donc d'un dispositif de capteurs solaires plus réduit.

Les résultats obtenus mettent en évidence la participation du massif rocheux à la fonction de stockage, celui-ci étant susceptible de restituer à l'eau des cuves une partie de la chaleur que celle-ci lui ont cédée précédemment. On peut analyser plus finement le comportement de ce massif en observant la température.

3.2. Etude de l'évolution de la température dans le massif rocheux

3.2.1. Evolution dans un plan horizontal au niveau des cuves

La figure 7 présente cette évolution selon un axe horizontal Od perpendiculaire à la cuve 1 en son milieu, pour une simulation particulière. L'analyse des températures pendant la saison froide et après celle-ci conduit à distinguer trois zones concentriques autour des cuves :

— à proximité (moins de 3 m dans le cas envisagé), la roche réagit très vite au déstockage de chaleur. Pendant la saison froide, la température de la roche diminue de façon notable pour atteindre de 11 à 15 °C en fin de saison froide. La chaleur emmagasinée est récupérée par les cuves. Ensuite la température se stabilise et remonte même à proximité immédiate des cuves. On peut considérer que cette zone participe directement au stockage actif ;

— à moyenne distance (3-9 m dans le cas envisagé), le massif participe au déstockage mais avec un certain déphasage et partiellement. Cette zone devient vers la fin de la fin de la saison froide la zone la plus chaude et joue le rôle d'une zone tampon : elle diffuse une partie de sa chaleur vers la zone proche des cuves qu'elles réchauffe après le déstockage ; elle transmet de même un flux de chaleur vers l'extérieur ;

— à plus grande distance (au-delà de 9 m dans le cas envisagé), le massif s'échauffe régulièrement par suite des pertes de la zone tampon. On peut évaluer ici l'élévation de température à 3 °C environ. Cette chaleur diffuse peu à peu vers le milieu environnant et ne semble pas récupérable. Il est important d'étudier son effet sur l'environnement.

Fig. 7 : Evolution de la température du massif rocheux la deuxième année de fonctionnement ($T_{vid} = 60\text{ °C}$; $\Delta T = 0,5\text{ °C/jour}$) selon un axe horizontal Od (cf. fig. 4).

3.2.2. Pertes vers la surface

Ces pertes sont influencées par les échanges avec l'atmosphère. La figure 8-b présente l'évolution de la température

selon un axe vertical O'p perpendiculaire à la cuve 1 que l'on pourra comparer d'une part à celles de la température du massif sous l'influence des seuls échanges avec l'atmosphère (pas de stockage, fig. 8-a), et d'autre part selon l'axe horizontal Od (fig. 7).

Courbe	Date
a	20 novembre
b	20 janvier
c	28 février
d	20 mai

Fig. 8 : Evolution à diverses dates de la température en fonction de la profondeur selon un axe vertical O'p perpendiculaire à la cuve 1 (cf. fig. 4).

Si la température en surface n'est pratiquement pas influencée par la présence du stockage, on constate à 4 m de profondeur un échauffement de plusieurs degrés par rapport au régime naturel du massif. Cet échauffement est toutefois inférieur à celui observé selon l'axe horizontal Od à la même distance de la cuve.

Ainsi pendant la saison chaude les variations des conditions atmosphériques ont pour effet de concentrer la chaleur diffusée par les cuves dans la zone à moyenne distance au détriment de la zone plus éloignée. Le surplus de chaleur emmagasinée par cette zone compense en grande partie les pertes supplémentaires occasionnées par le refroidissement du sous-sol proche de la surface pendant la saison froide.

4. Conclusions

L'utilisation d'anciennes carrières souterraines pour le stockage d'eau chaude pour le chauffage d'un bâtiment est possible sans isolation particulière du stock. La température de l'eau du stock est cependant insuffisante pour être utilisée directement au chauffage du bâtiment. Il faut relever légèrement le niveau thermique du stock.

Dans ces conditions, une analyse fine des transferts thermiques dans le massif rocheux révèle que celui-ci participe très directement à la fonction de stockage et concourt à une bonne récupération de la chaleur stockée.

Du point de vue environnemental, l'élévation de la température du massif est inférieure à 1 °C à 18 m de distance du stock souterrain.

A partir de ces résultats, la faisabilité pratique d'un tel projet demeure soumise à des analyses technologiques (réalisation souterraines des cuves, y compris pour leur faire jouer le rôle de consolidation mécanique) et économiques particulières.

Bibliographie sommaire

- ANQUEZ J., CROISSET M., LE QUERE J., (1979) : L'incidence des caractéristiques solaires d'un logement sur les besoins en chauffage. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, n° 203, cahier 1596, oct. 1979, 21 p.
- ARNOULD M., (1971) : Problems associated with underground cavities in the Paris region. AEG Publ., Annual meeting, oct. 1970, Washington D.C.
- BOUSQUIE P., (1979) : Texture et porosité de roches calcaires. Thèse Doct-Ing., Paris, juil. 1979, pp. 161-148.
- CARSLAW et JAEGER, (1959) : Conduction of heat in solids. Oxford University Press, London, 1959, 2nd edition, 510 p.
- EFFORSAT J., (1983) : Stockage intersaisonnier en carrières souterraines d'énergie solaire pour l'habitat. Thèse Doct-Ing., Paris, avril 1983, 193 p.
- MAURY V., (1982) : Le stockage souterrain : conception et réalisation. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n° 407, sept. 1982, pp. 84-110.
- SHELTON J., (1975) : Underground storage of heat in solar heating systems. Solar Energy, vol. 17, 1975, pp. 137-143.

Remerciements

Les auteurs remercient la Municipalité de la Ville de Sèvres, les Services Techniques de la Ville et M. G. Lurot, architecte du projet, pour leur coopération.

Discussion

Président : M. P. SOURIEAU

M. GRJEBINE. — Qu'entendez-vous par « bas niveau thermique » ? Et qu'envisagez-vous comme revêtement à l'intérieur de la carrière ?

M. DEVEUGHELE. — Le revêtement de l'intérieur de la carrière se serait limité à une simple étanchéité, en raison de son état consolidé. Mais le projet a été interrompu, par suite de l'abandon du projet d'école maternelle.

M. SAULNIER. — Il a été dit ce matin que la qualité d'un modèle dépend de sa finesse d'une part, et de la confiance qu'on peut accorder aux paramètres phénoménologiques d'autre part. Quelle confiance pouvez-vous attribuer aux coefficients h décrivant l'échange entre l'eau des cuves et les parois ? Une étude de sensibilité a-t-elle montré que les chiffres que vous annoncez sont faibles ?

M. DEVEUGHELE. — Ces chiffres ne sont pas totalement fiables. Ces coefficients ne sont bien sûr pas choisis arbitrairement et on a fait une étude hydraulique à l'intérieur des cuves. Le coefficient le moins sûr, sans doute faux d'ailleurs, est celui de la face supérieure; on a alors réalisé une simulation avec une valeur 10 de ce coefficient et on obtient un assez comparable résultat.

M. BRUNET. — Même type de question pour les échanges de surface. Avez-vous déterminé localement les coefficients a et b de

la condition de flux et quelle précision peut-on accorder à ce type de modélisation ?

M. DEVEUGHELE. — On a tenu compte du bilan radiatif de la vitesse du vent et des échanges par convection ainsi que de l'évaporation. Les données, prises en moyenne par décade, sont issues de la station météorologique de TRAPPES. Mais l'étude de sensibilité n'a pas été effectuée.

M. GAUDET. — Vous n'avez toujours considéré que le déstockage afin de voir la contribution du sol environnant et l'efficacité de l'isolation.

M. DEVEUGHELE. — Oui

M. GAUDET. — Il aurait également été intéressant de considérer tout le cycle.

M. DEVEUGHELE. — J'en suis conscient mais je n'ai pas repris l'étude spécialement pour cette communication. De même, il aurait été intéressant d'étudier le cas d'une isolation poussée du stockage, ainsi que le cas « stock froid », lorsqu'on ne chauffe pas en été et ne comptant que sur la chaleur extérieure.

M. LE PRÉSIDENT. — Je crois que nous pouvons remercier les conférenciers et les auteurs qui ont soulevé de nombreuses questions en faisant référence aux aspects fondamentaux évoqués durant la matinée. Je vous remercie.