

LES SYSTEMES DE FONTE DES NEIGES UTILISANT L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

Masato TANAKA, Kazuma MORIYAMA, Takuo HAYASHI
Misawa Environmental Technology Co., Ltd.
TEL. :+81-824-66-2281/FAX :+81-824-66-2975
Courrier électronique : misawa@hiroshima-cdas.or.jp

Ces dernières années, nous avons constaté l'émergence d'une demande en systèmes capables de faire fondre la neige, qui soient à la fois respectueux de l'environnement et peu gourmands en énergie, destinés à rendre les routes plus fiables et plus praticables dans les régions enneigées.

Depuis une dizaine d'années, Misawa Environmental Technology travaille à la création d'un système de déneigement sans diffuseur, appelé Borehole Heat Exchange System (BHES) ou Système d'échange de chaleur à trous de sonde. Ce système utilise l'énergie géothermique (d'une profondeur de 50 à 150 mètres), l'une des sources d'énergie naturelle les plus stables. Nous avons mené une étude qui a consisté à vérifier l'efficacité et la fiabilité du système à faire fondre la neige, ainsi qu'une étude de suivi à long terme en vue de confirmer les caractéristiques d'économie d'énergie et de respect de l'environnement sur la base de son budget annuel en énergie thermique.

Les résultats de cette étude reposent sur des mesures d'observation météorologique, de la température du sol, de la température de fluides circulants, de la température de la surface de la route et autres données similaires. Le présent rapport présente nos conclusions sur le système BHES, couvrant tous les aspects suivants du système :

- (1) Efficacité à faire fondre la neige et à prévenir le gel
- (2) Stabilité de l'approvisionnement en énergie géothermique
- (3) Montant annuel du budget énergétique et des coûts en énergie
- (4) Capacité à réduire la consommation en carburant fossile et les émissions de CO₂
- (5) Stockage de chaleur en été et caractéristiques annuelles de transfert de chaleur

Notre étude de suivi a confirmé l'efficacité du système sur une période de 5 ans environ et a démontré ses caractéristiques d'économie d'énergie et de respect de l'environnement.

1. Présentation du système

La Figure 1 illustre le concept global du système. Celui-ci a été construit en installant des tiges d'échange de chaleur (des tuyaux en polyéthylène) dans des trous de sonde de 50 à 150 mètres de profondeur environ. Ces tiges ont été connectées à des circuits étanches dotés de tuyaux rayonnants enfoncés dans la surface de la route. De l'antigel circule dans ces circuits étanches. En hiver, le liquide en circulation refroidit par la surface de la route extrait de la chaleur du sol environnant grâce aux tiges d'échange de chaleur. Le fluide circulant chauffé réchauffe à son tour la surface de la route grâce aux tuyaux rayonnants, contribuant ainsi à faire fondre la neige et à prévenir le gel.

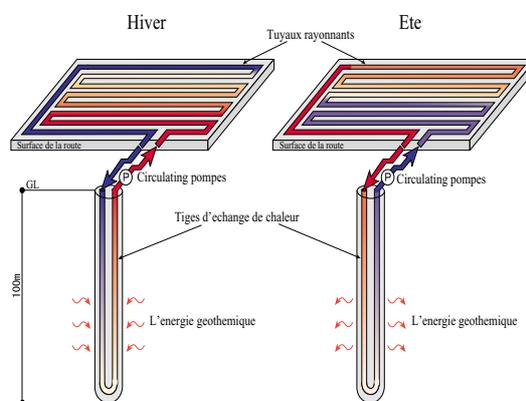


Figure 1 Concept overall system de BHES

En été, le système peut recueillir de l'énergie solaire grâce au fluide circulant sous la surface de la route. Le fluide circulant réchauffé chauffe le sol environnant, créant ainsi une réserve de chaleur qui réduit la montée en température de la surface.

2. Efficacité à faire fondre la neige et à prévenir le gel

L'étude de suivi que nous avons menée après l'installation d'un BHES sur chaque site a démontré l'efficacité du système à faire fondre la neige et à prévenir le gel.

La Figure 2 montre la relation entre l'accumulation de neige par jour et la quantité de neige qui restait sur la surface de la chaussée lorsque le système fonctionnait. Dans tous les cas, nous avons obtenu des surfaces de route satisfaisantes pour des enneigements de 20 à 25 cm/jour. Toutefois, lorsque le taux de chute de neige (accumulation par heure) était élevé au moment de la mesure, une certaine quantité de neige est restée sur la route, même les jours d'accumulation totale faible.

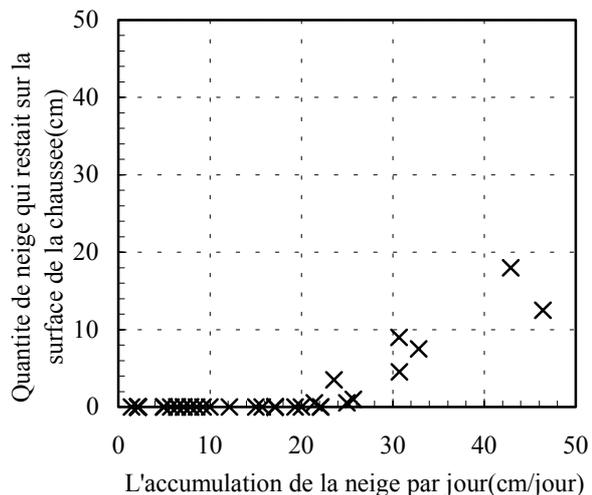


Figure 2 Relation entre l'accumulation de neige par jour et la quantité de neige qui restait sur la surface de la chaussée

La Figure 3 montre comment l'accumulation de neige sur la surface de la route dans laquelle le système fonctionnait a évolué dans le temps par rapport aux chutes de neige. Le système a empêché pratiquement toute accumulation de neige sur la surface de la route pour des chutes de neige allant jusqu'à 2 cm/heure, faisant ainsi la preuve de son efficacité à faire fondre la neige. Le BHES était encore plus efficace lorsqu'il fonctionnait au début d'une chute de neige, car à ce moment, il pouvait empêcher toute accumulation de neige, même avec des chutes de neige de plus de 2 cm/heure. Nous attribuons cette efficacité accrue à l'effet de l'accumulation de chaleur créée par la fourniture continue d'énergie thermique avant que la chute de neige ne commence. Pendant les chutes de neige de plus de 2 cm/heure, la neige s'accumulait sur la surface de la route pendant la chute, puis la fonte reprenait dès que la chute de neige cessait.

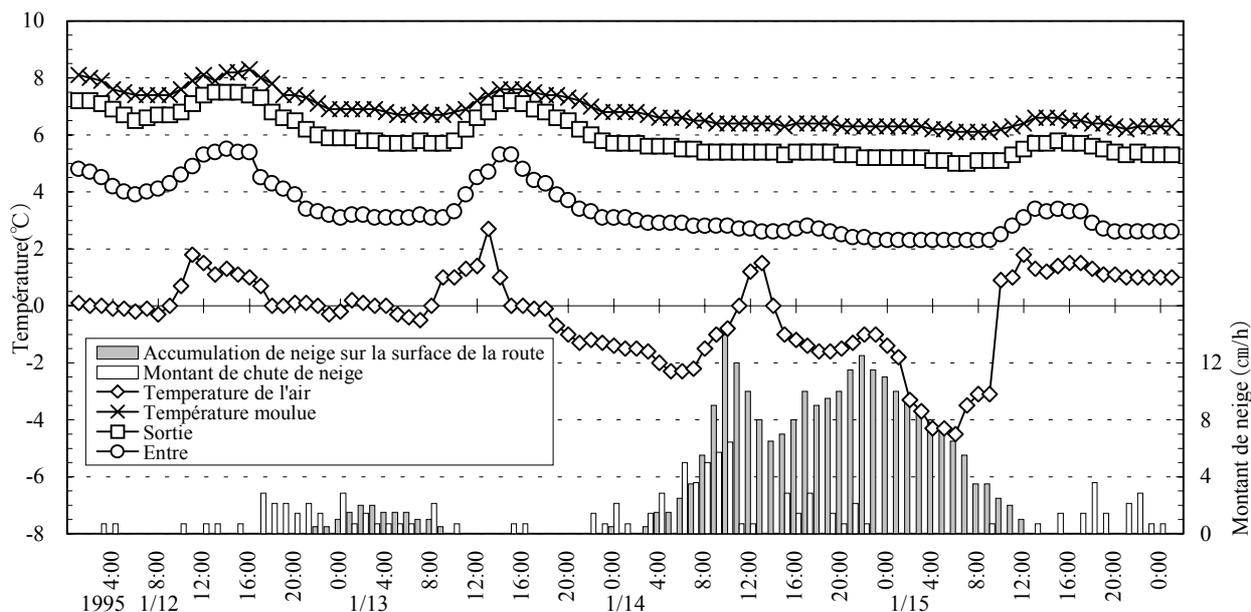


Figure 3 Comme l'accumulation de la neige sur une surface de route change avec le temps dans rapport au taux de la chute de neige

La Figure 4 montre le rapport entre la température extérieure de l'air hivernal et la température de la surface de la route dans laquelle le système fonctionnait. Même si l'efficacité variait selon la route et les conditions d'installation, le système était généralement capable de maintenir la route au-dessus de 0°C jusqu'à ce que la température de l'air descende au-dessous de -6°C , ce qui confirme l'efficacité du système BHES à prévenir le gel.

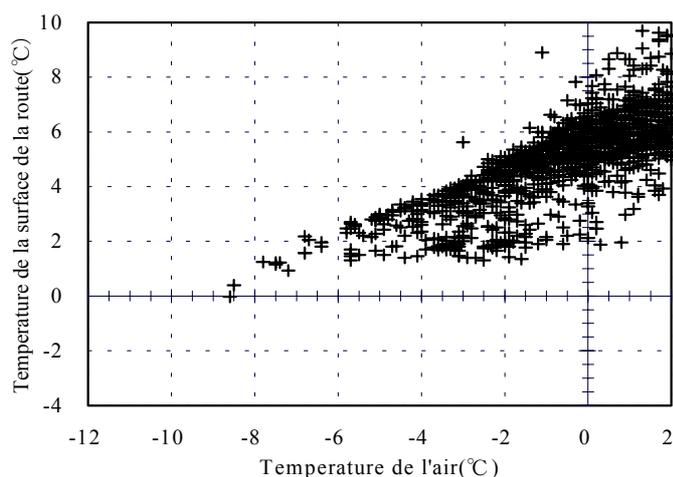


Figure 4 Rapport entre la température extérieure de l'air hivernal et la température de la surface de la route

3. Stabilité du rapport température du sol/extraction de chaleur

La Figure 5 montre la distribution de l'efficacité du taux d'extraction de chaleur pour l'ensemble des 25 sites expérimentaux, sur la base de notre mesure du niveau d'énergie géothermique sur chaque site. Avant d'installer le système, nous avons effectué ces mesures pour déterminer la quantité de chaleur qui pouvait être extraite du sol sur chaque site expérimental, de manière à pouvoir déterminer le nombre de tiges d'échange de chaleur nécessaire pour l'aire en surface applicable du site. Le taux d'extraction de chaleur et d'autres caractéristiques des tiges d'échange de chaleur ont été mesurés en injectant dans les tiges, à l'aide d'une pompe, de l'eau réfrigérée à température constante. La température du sol et la température de l'eau dans les canalisations à l'intérieur et à l'extérieur des tiges furent ensuite mesurées à régime constant.

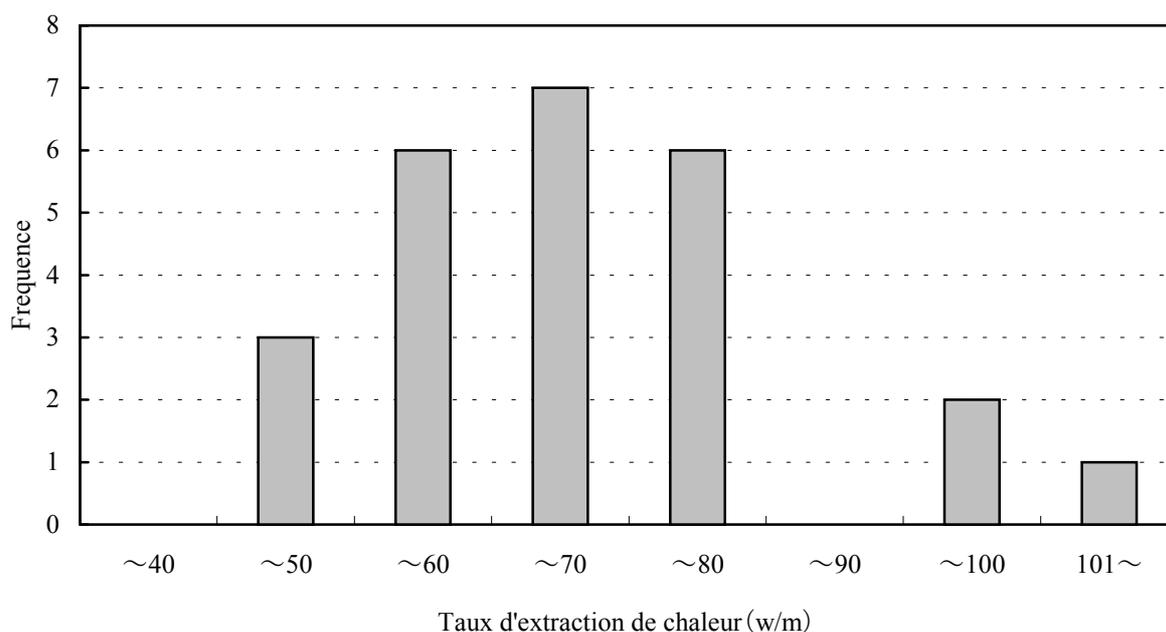


Figure 5 Distribution de l'efficacite du taux d'extraction de chaleur

La température du sol et la conductivité thermique ont créé quelques variations au niveau des données, mais, comme le montre la Figure 5, notre taux d'extraction de chaleur mesuré se situait généralement entre 40 et 80 W/m (par unité de longueur de tige d'échange de chaleur).

La Figure 3 montre également comment les températures du sol et du fluide circulant ont changé avec le temps pendant que le système fonctionnait. Le système a fonctionné en continu pendant 100 heures environ dans chaque cas. Pendant ce temps, la température du sol était stable pendant les charges maximales et la température du fluide circulant restait stable à environ 5°C.

La Figure 6 montre l'évolution relative à l'efficacité de l'extraction de la chaleur des tiges d'échange de chaleur pendant l'hiver. L'efficacité de l'extraction de chaleur est définie par l'équation suivante :

$$\psi = \frac{T_o - T_i}{T_g - T_i} \times 100$$

Où

- $\psi =$ Efficacité de l'extraction de la chaleur (%)
- $T_o =$ Température à la sortie des tiges d'échange de chaleur (°C)
- $T_i =$ Température à l'entrée des tiges d'échange de chaleur (°C)
- $T_g =$ Température du sol (°C)

Même si les variations météorologiques ont entraîné quelques faibles fluctuations dans les données, l'efficacité de l'extraction de chaleur est restée stable pendant tout l'hiver, confirmant ainsi que le système peut fournir de la chaleur de manière constante tout en continuant à extraire de la chaleur de son environnement.

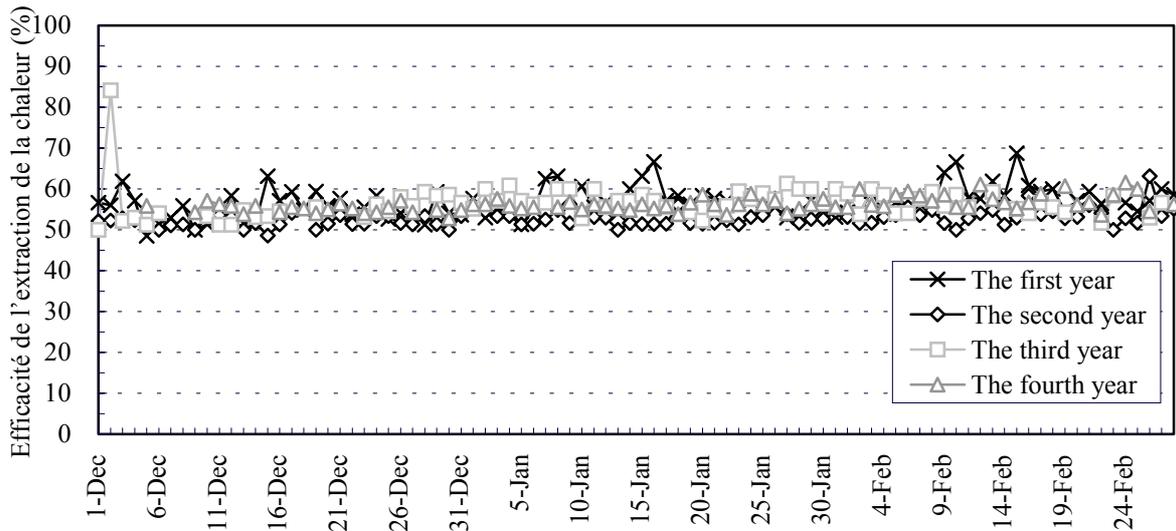


Figure 6 Changement de l'efficacite de l'extraction de la chaleur

4. Montant annuel du budget énergétique et des coûts en énergie

La Figure 7 montre le budget annuel d'énergie thermique du système créé par la chaleur transférée entre les tiges d'échange de chaleur et le sol. La chaleur transférée des tiges d'échange de chaleur au sol est définie comme une valeur positive et la chaleur transférée du sol aux tiges d'échange de chaleur est définie comme une valeur négative. De décembre à mars, la quantité de chaleur a été négative, ce qui indique une extraction de chaleur du sol. Avril/novembre a été la période de stockage de chaleur par le système, avec le mois de juillet comme point culminant. Certes, les variations météorologiques ont généré certaines fluctuations, mais la tendance générale est restée cohérente. La quantité accumulée du stockage de chaleur était de plus de 20 % supérieure à la quantité accumulée d'extraction de chaleur, chiffre relativement important.

Le Tableau 1 indique le coût de l'électricité nécessaire pour faire fonctionner le système afin de faire fondre la neige en hiver. Bien que les chiffres puissent varier en fonction des conditions météorologiques et de la capacité du système, le BHES peut généralement fonctionner avec une somme située entre 100 et 300 yens/m²/an. Nous pouvons affirmer qu'il nécessite beaucoup moins d'énergie que les méthodes de chauffage électrique classiques (dont le coût est de l'ordre de 5 600 yens/m²/an) ou que les systèmes à bain d'huile (dont le coût est de l'ordre de 2 500 yens/m²/an).

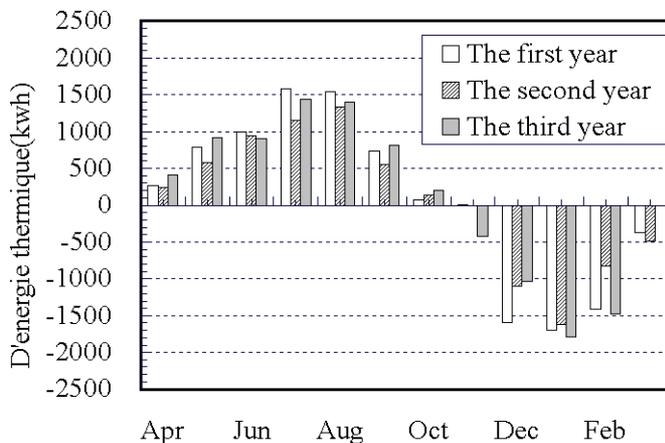


Figure 7 Budget annuel d'energie thermique

Table 1 Cost de l'operation

Aire de deneigement (m ²)	Cost de l'operation (yens/m ² · an.)
220	115
210	120
533	173
572	187
1,085	193
100	130
440	254
246	254
62	281

5. Capacité à réduire la consommation en carburant fossile et les émissions de CO2

Le Tableau 2 indique le coefficient de performance (COP) du système, la quantité d'énergie alternative fournie et la réduction des émissions de CO2. Les chiffres ont été calculés sur la base de la chaleur accumulée extraite et de la consommation en électricité pendant l'hiver. Le COP du système a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{COP} = \frac{E_s}{E_p}$$

Où

COP = Coefficient de performance du système
 Es = Chaleur totale extraite
 Ep = Energie totale nécessaire pour faire fonctionner les pompes

Table 2 Coefficient de performance du système

	chaleur extraite cumulative (kwh)	consommation en electricite (kwh)	coefficient de performance (COP)	montant de substitution du petrole (kl)	réduction des é missions de CO2 (t • C)
The first year	133,921	17,688	7.6	26.8	13.9
The second year	176,301	22,459	7.8	35.5	18.5
The third year	122,922	16,026	7.7	24.7	12.8
The fourth year	146,124	18,755	7.8	29.4	15.3

Le BHES a un COP de 7,8, ce qui signifie que l'énergie qu'il fournit à la surface de la route est égale à 7,8 fois la quantité d'électricité qu'il consomme. Cette valeur COP indique qu'environ 87 % de l'énergie fournie à la surface de la route sont de l'énergie géothermique extraite, soulignant ainsi l'utilisation extrêmement efficace de l'énergie naturelle par le système.

Nous avons estimé les taux de consommation d'énergie primaire et les émissions de CO2 du système et comparé ces valeurs avec celles des systèmes électriques et à chaudière à eau classiques pour faire fondre la neige. Le Tableau 3 montre l'estimation de la consommation d'huile cumulée ainsi que les émissions de CO2 de 13 sites utilisant conjointement le BHES (avec une aire totale de déneigement de 8,581 m²).

La consommation d'huile estimée était de 86,000 litres, avec des émissions de CO2 équivalentes à 45,000 kg de carbone. Ce niveau d'émissions de CO2 était inférieur au chiffre des systèmes de chauffage électrique de 301 tonnes et inférieur au chiffre des systèmes à chaudière à eau de 173 tonnes.

En utilisant l'énergie naturelle pour la majorité de l'énergie consommée pour la fonte de la neige, le BHES présente un taux d'émissions de CO2 extrêmement faible et a fait la preuve d'une diminution quantitative de l'impact sur l'environnement.

Table 3 Émissions de CO2

	consommation d'energie fondamentale (ℓ)	émissions de CO2 (kg • C)
Methodes de chauffage électrique	665,000	346,000
Systèmes à bain d'huile	316,000	218,000
B H E S	86,000	45,000

6. Stockage de chaleur en été et caractéristique annuelle de transfert de chaleur

Nous avons comparé les évolutions annuelles de la température du sol, avec et sans l'utilisation de la fonction de stockage de chaleur en été qu'offre le système. Le résultat est présenté dans la Figure 8 qui donne la température du sol chaque année avant la mise en fonction du système pour l'hiver. Lorsqu'il y a eu stockage de chaleur, nous avons constaté une augmentation annuelle de la température du sol. Avec uniquement l'extraction de chaleur, chaque année en hiver, sans stockage de chaleur, nous n'avons constaté pratiquement aucune baisse annuelle de la température du sol. Dans ce cas, la température du sol est redevenue proche de son niveau naturel.

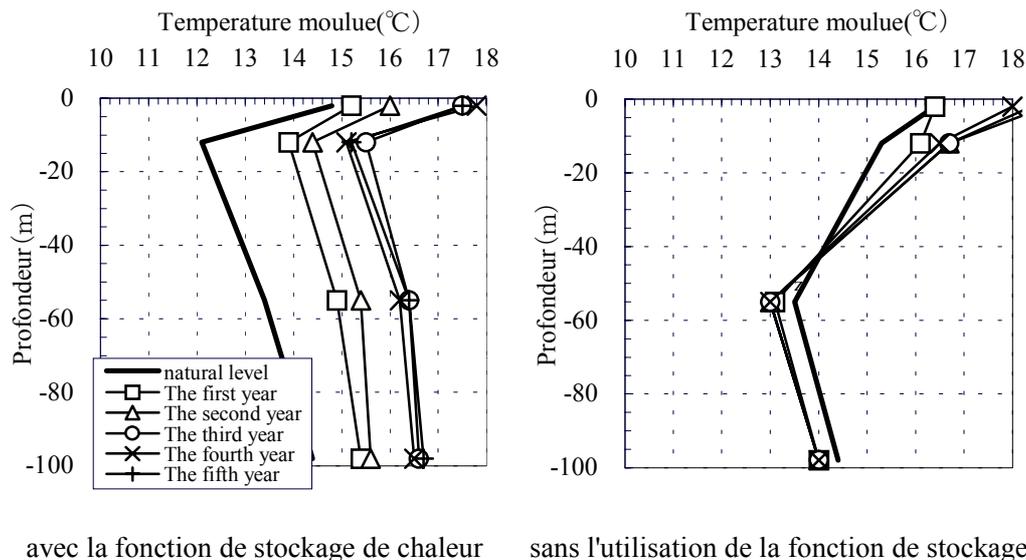


Figure 8 Evolutions annuelles de la température du sol

7. Conclusion

Cette étude a démontré que le système BHES de déneigement sans diffuseur utilisant l'énergie géothermique est fiable, réduit les effets néfastes sur l'environnement et possède une caractéristique de transfert de chaleur annuelle faible. Les conclusions de l'étude sont répertoriées ci-dessous.

- (1) Le BHES peut faire fondre la neige totalement sur les surfaces de route pour des chutes de neige pouvant atteindre 25 cm/jour avec des taux d'enneigement allant jusqu'à 2 cm/heure.
- (2) Le BHES peut empêcher le gel de la surface de la route pour des températures extérieures de l'air pouvant descendre jusqu'à -6°C.
- (3) Le BHES peut fournir une source de chaleur stable pendant tout l'hiver, sans aucune baisse annuelle de la quantité de chaleur fournie.
- (4) Le BHES permet une utilisation efficace de l'énergie naturelle et réduit considérablement la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO₂.

A l'avenir, les sources d'énergie géothermique, solaire et autres sources naturelles joueront un rôle important dans les systèmes de déneigement. La conception de ces systèmes doit prendre en considération le besoin de routes praticables dans les régions enneigées, mais également la protection de l'environnement et le maintien de l'accès aux équipements collectifs. Nous sommes convaincus que cette étude fera référence pour l'élaboration de systèmes futurs.