

# **DEVELOPPEMENT D'UNE TECHNOLOGIE DE DENEIGEMENT DU RESEAU ROUTIER UTILISANT L'EAU SOUTERRAINE COMME SOURCE THERMIQUE**

Kiichi Numazawa et Nobuaki Goto

Japan Ground Water Development Co., Ltd.

777 Matsubara Yamagata, Yamagata 990-2313 Japon

Tel : + 81 - 23 - 688 - 6000

Fax : + 81 - 23 - 688 - 6009

E-mail : numazawa@jgd.co.jp

## **1. Résumé**

Les conditions météorologiques durant la saison hivernale au Japon se distinguent des autres à cause d'abondantes chutes de neige avec des températures relativement clémentes. En outre, plus de 20% de la population japonaise réside dans de telles régions enneigées qui constituent environ 60% de l'ensemble du territoire national. Par conséquent, les opérations de déneigement du réseau routier et de traitement de la neige jouent depuis longtemps un rôle essentiel au Japon. Des systèmes consistant à faire fondre la neige au moyen des eaux souterraines ont été développés au Japon et mis en pratique.

Le système faisant fondre la neige au moyen de têtes d'arrosage diffusant de l'eau souterraine afin d'éliminer la neige sur la chaussée a été développé en 1961 et s'est répandu dans les régions fortement enneigées du Japon. Toutefois, ce système utilise énormément d'eaux souterraines inutilement et sans possibilité de récupération et provoque parfois des problèmes comme la diminution de la nappe d'eaux souterraines ou des affaissements de terrain.

Un système faisant fondre la neige sans arrosage de la chaussée par de l'eau souterraine a été développé en 1980 afin de prévenir les affaissements de terrain et de conserver les ressources précieuses en eaux souterraines. Ce système utilise uniquement l'énergie thermique des eaux souterraines et renvoie ensuite l'eau utilisée dans la nappe aquifère pour la recharger sans exécuter d'arrosage de la chaussée. Récemment, ce système est devenu populaire et s'est répandu au Japon dans les régions où les chutes de neige sont abondantes.

On peut dire que ce système est relativement un système d'économie d'énergie puisqu'il utilise efficacement de l'énergie inutilisée. Toutefois, certaines idées concernant les économies d'énergie décrites dans cette étude et visant à réduire la charge pesant sur l'environnement global sont développées et essayées, reflétant le fait que l'on a gaspillé par le passé beaucoup d'énergie sans prévoir la perturbation de l'équilibre de l'environnement que nous connaissons à l'heure actuelle avec le réchauffement de l'atmosphère.

## **2. Le temps en hiver au Japon**

Le temps en hiver au Japon est caractérisé par d'abondantes chutes de neige malgré des températures relativement modérées, notamment dans les régions situées dans le nord-est du pays.

La Figure 1. indique la relation entre les précipitations et la température moyenne en janvier et en février dans certaines villes. Ceci démontre que la hauteur des précipitations dans les villes japonaises est beaucoup plus élevée que dans de nombreuses villes américaines ou européennes.

On sait que la pluie se transforme en neige à une température au sol située aux alentours de 2 à 3°C. Par conséquent, les précipitations durant les mois de janvier et de février se traduisent dans la plupart des cas par des chutes de neige dans lesdites villes.

Durant l'hiver, dans les régions situées dans le nord-est du pays comme les régions du Tohoku et du Hokuriku, les températures minimales se situent en-dessous de 0°C durant de nombreux jours mais il y a aussi quelques jours où la température maximale se situe également en-dessous de 0°C.

La neige sur la chaussée de la route fond durant la journée lorsque les températures sont supérieures à zéro et gèle de nouveau durant la nuit lorsque la température devient négative. Ce phénomène se répète quotidiennement ou à de courts intervalles et rend la surface verglacée irrégulière.

De telles conditions affectant la surface des routes provoquent des difficultés pour la circulation routière et de nombreux efforts ont été menés pour éliminer et contrôler la neige sur les routes au Japon.

### 3. Fonte de la neige sans arrosage d'eau

Le système de base consiste en deux puits et une zone de rayonnement thermique. La Figure 2. donne une description sommaire de ce système. Un puits (" puits de pompage ") est destiné au pompage des eaux souterraines et l'autre (" puits de recharge ") est destiné à l'infiltration de l'eau souterraine utilisée dans la nappe aquifère.

Des tuyaux pour le rayonnement thermique de petit diamètre sont logés dans le sol sous la surface de la chaussée, des trottoirs, des parcs de stationnement, etc. où l'on doit éliminer l'accumulation de neige.

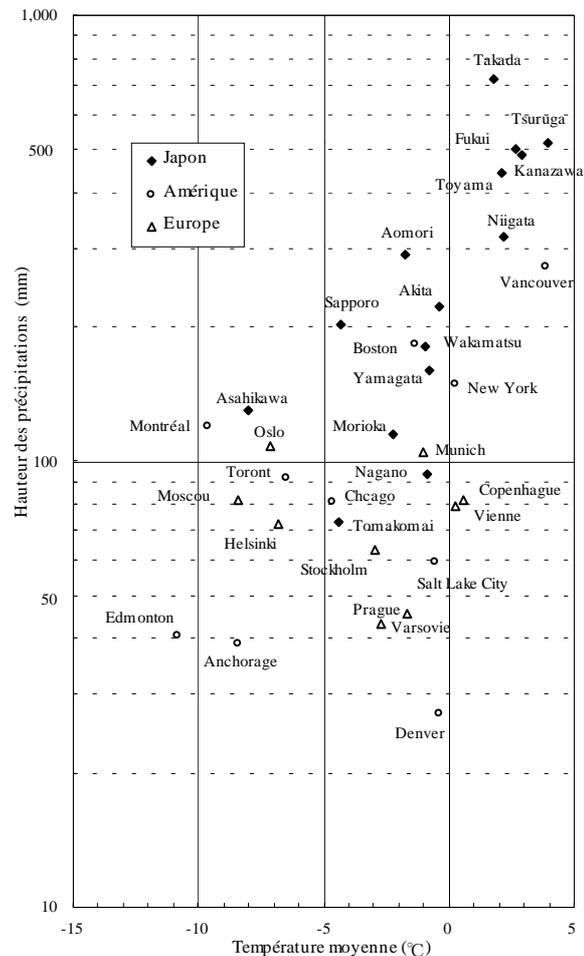


Fig.1 Hauteur des précipitations et température moyenne en janvier et en février

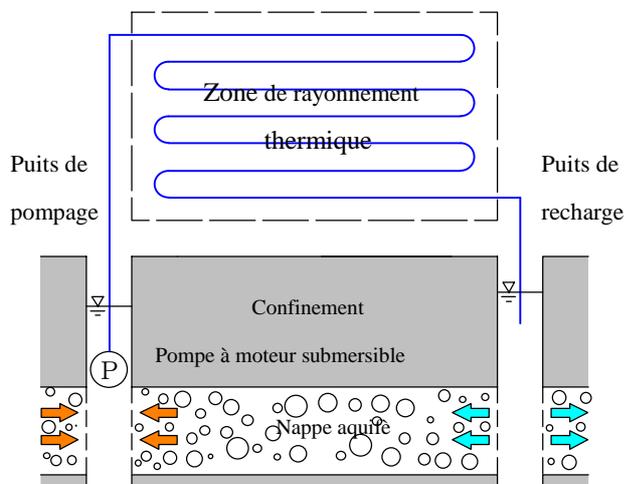


Fig.2 Description du système destiné à faire fondre la neige sans arrosage d'eau

L'eau souterraine pompée à partir du puits de pompage alimente les tuyaux de rayonnement thermique et diffuse l'énergie thermique pour chauffer la surface de la chaussée, etc. qui se trouve en surface et faire fondre la neige qui s'y trouve, et cette eau est de nouveau infiltrée dans la nappe aquifère par l'intermédiaire du puits de recharge de la nappe.

On considère que la température des eaux souterraines à une certaine profondeur est pratiquement la même que la température moyenne annuelle de l'atmosphère dans la région considérée. Ainsi des eaux souterraines dont la température se situe entre 10°C et 15°C sont disponibles dans les régions situées dans le nord-est du Japon.

La température de ces eaux souterraines n'est pas assez élevée pour que l'énergie thermique qu'elles recèlent soit utilisée à des fins industriels mais celle-ci est suffisante comme source d'énergie thermique pour les systèmes destinés à faire fondre la neige.

On peut donc dire que ce système utilise de l'énergie inutilisée de manière efficace.

Les principaux avantages de ce système sont les suivants :

- 1) Comme on n'arrose pas avec de l'eau la surface du sol, la neige peut être éliminée des surfaces en pente ou irrégulières.
- 2) Comme il n'y a pas d'eau arrosée ou aspergée en éclaboussant à la surface du sol, ceci est beaucoup plus commode pour les piétons.
- 3) Comme ce système utilise l'énergie thermique des eaux souterraines qui est inutilisée, il s'avère permettre de faire des économies d'énergie et ses coûts de fonctionnement sont peu élevés.

Le Tableau 1. préparé par le Professeur Zenpachi WATANABE compare les coûts initiaux et les coûts de fonctionnement des systèmes destinés à faire fondre la neige au Japon.

- 4) Comme ce système ne gaspille pas les eaux souterraines, il ne causera pas de problèmes comme un manque d'eaux souterraines ou des affaissements de terrain.

Tableau 1 Comparaison du coût initial et des coûts de fonctionnement de différents types de systèmes destinés à faire fondre la neige au Japon

Système de fonte de la neige	Source d'énergie thermique	Dispositif de chauffage	Coût initial*	Coûts de fonctionnement*	Remarque
Eaux souterraines sans arrosage	Sous-sol	Tuyau de circulation d'eau	50 - 60	0,5	Préservation de l'environnement
Eaux souterraines avec arrosage	Sous-sol	Têtes d'arrosage	15 - 30	0,45	Risques d'affaissement de terrain
Circulation de fluide chaud	Fioul	Tuyau de circulation	47	1,0 - 1,2	Nécessité d'entretenir les installations
Circulation de fluide chaud	Fioul	Canalisation thermique	60	1,2 - 1,5	Nécessité d'entretenir les installations
Câble de chauffage électrique	Electricité	Câble thermique	47	3,5 - 4,9	Facile à contrôler
Chauffage à partir d'une source thermique	Source thermique	Canalisation thermique	30 - 40	0	Limité aux secteurs où se trouvent des sources thermales

\* Coût : 1.000 yen/m<sup>2</sup>

Les données réelles obtenues à partir des expériences indiquent les phénomènes suivants pour le système destiné à faire fondre la neige sans arrosage avec de l'eau souterraine.

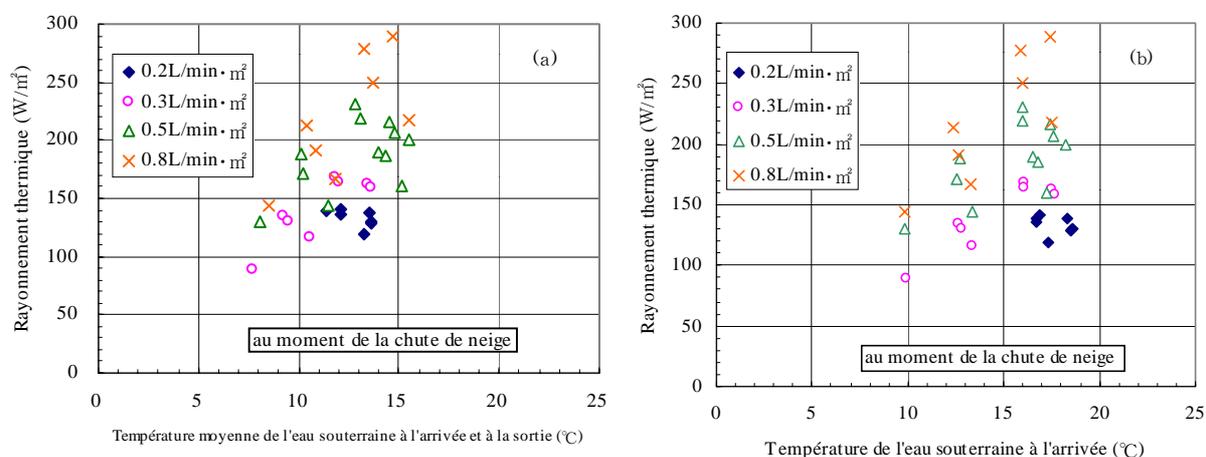


Fig.3 Relation entre le rayonnement thermique et la température des eaux souterraines dans la Ville de Yamagata

1. Plus la température est élevée à l'orifice d'arrivée de l'eau souterraine, plus le rayonnement thermique au niveau des tuyaux de rayonnement est important, avec la même quantité d'eau souterraine à la même température atmosphérique et la même chute de neige.
2. Plus est importante la quantité d'eau souterraine, plus le rayonnement thermique au niveau des tuyaux de rayonnement est important, avec la même quantité d'eau souterraine à la même température atmosphérique et la même chute de neige.

3. Plus la température atmosphérique est basse et plus réduite la quantité d'eau souterraine, plus importante sera la chute de température des eaux souterraines dans les tuyaux de rayonnement thermique.
4. La chaleur provenant des tuyaux de rayonnement thermique est saturée lorsque la surface du sol est recouverte de neige et le niveau de cette valeur dépend de la quantité et de la température des eaux souterraines.

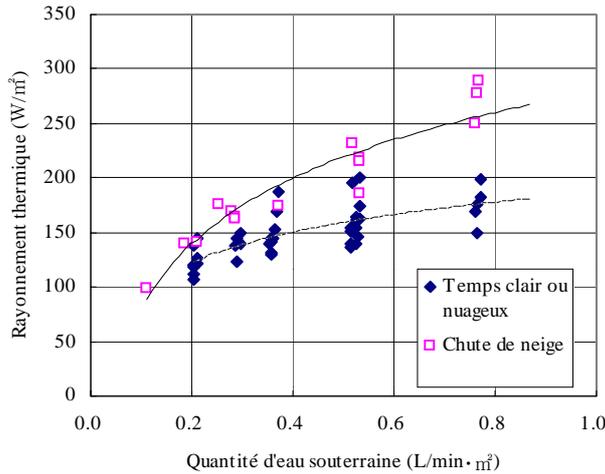


Fig.4 Relation entre le rayonnement thermique et la quantité d'eaux souterraines dans la Ville de Yamagata

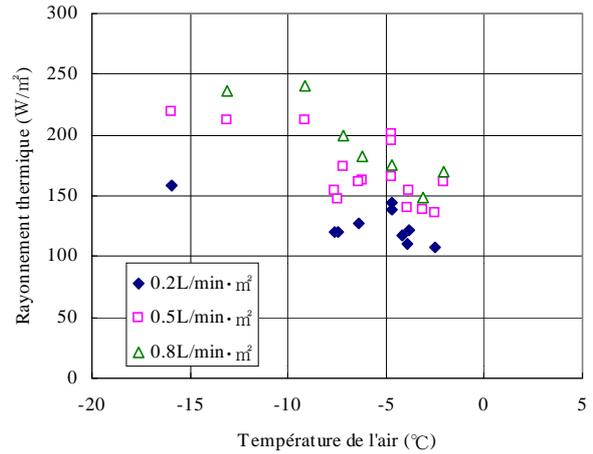


Fig.5 Relation entre le rayonnement thermique et la température de l'air dans la Ville de Yamagata

#### 4. Idées concernant les économies d'énergie développées récemment

On peut dire que ce système de base est relativement un système d'économie d'énergie puisqu'il utilise efficacement de l'énergie inutilisée. Toutefois, certaines idées concernant les économies d'énergie décrites dans cette étude et visant à réduire la charge pesant sur l'environnement global sont développées et essayées.

- (1) Réduire la valeur thermique théorique requise pour faire fondre la neige à un niveau acceptable.
- (2) Réduire le volume d'eaux souterraines requis pour le fonctionnement du système grâce à une utilisation efficace
- (3) Utiliser une énergie recyclable

##### 4-1 Réduire la valeur thermique théorique requise pour faire fondre la neige à un niveau acceptable.

Des systèmes de fonte de la neige équipés de dalles chauffées doivent posséder une capacité suffisante pour faire fondre la neige et contrôler l'apparition de verglas sur la chaussée.

La valeur de sortie pour ce type de système peut être calculée au moyen de l'équation suivante avec les valeurs thermiques individuelles calculées théoriquement à partir des données météorologiques.

$$q_o = q_s + q_m + Ar(q_e + q_h) \quad (1)$$

Quand

$q_0$  : valeur de sortie requise,  $W/m^2$

$q_s$  : chaleur sensible transférée à la neige,  $W/m^2$

$q_m$  : chaleur de fusion,  $W/m^2$

$A_r$  : Pourcentage de la zone non enneigée (pourcentage de la zone non enneigée par rapport à la surface totale considérée), pas de dimension

$q_e$  : chaleur d'évaporation,  $W/m^2$

$q_h$  : transfert de l'énergie thermique par convection et rayonnement,  $W/m^2$

Nous, au Japon, avons généralement utilisé 0,5 ?  $A_r$  ? 1,0 pour le pourcentage de la zone non enneigée au lieu de 0 ?  $A_r$  ? 1,0 et avons installé de nombreux systèmes de ce type.

Toutefois, on rapporte parfois que les systèmes conçus de cette manière possèdent une surcapacité et tout spécialement dans les régions du nord-est du Japon.

A cet égard, nous avons évalué une nouvelle fois l'équation théorique qui supposait que la zone considérée était partiellement couverte de neige. La zone qui n'est pas recouverte de neige nécessite la chaleur de l'évaporation ( $q_e$ ) et le transfert de la chaleur par convection et rayonnement ( $q_h$ ). La zone couverte de neige nécessite la chaleur sensible ( $q_s$ ) et la chaleur de fusion ( $q_m$ ).

Prenant en considération cela, nous avons dérivé l'équation théorique indiquée ci-dessous. Elle s'applique beaucoup mieux aux régions du nord-est du Japon.

$$q_0 = (1 - A_r) (q_s + q_m) + A_r(q_e + q_h) \quad (2)$$

Ceci signifie que lorsqu'il y a une chute de neige (il est acceptable pratiquement de couvrir la surface du sol avec une fine couche de neige, c'est-à-dire que  $A_r = 0$ ), il est nécessaire de considérer uniquement la chaleur sensible ( $q_s$ ) et la chaleur de fusion ( $q_m$ ).

Lorsqu'il n'y a pas de neige à l'endroit considéré (c'est-à-dire que  $A_r = 1$ ), il est nécessaire de considérer uniquement la chaleur d'évaporation ( $q_e$ ) et la chaleur de transfert par convection et rayonnement ( $q_h$ ).

Par conséquent, la puissance du système est fixée pour couvrir la chaleur requise pour faire fondre la neige ou encore la chaleur requise pour éliminer le verglas en fonction de la quantité d'énergie thermique la plus importante des deux.

## **4.2 Réduire le volume d'eaux souterraines requis pour le fonctionnement du système grâce à une utilisation efficace**

### **4.2.1 Réutiliser l'eau souterraine pour le système**

Lorsque la température de l'eau souterraine est élevée et qu'elle possède une chaleur suffisante à la sortie du système, elle peut être utilisée de nouveau pour un autre système. Ceci peut permettre de réduire la quantité d'eau nécessaire à l'opération du système. La chute de température des eaux souterraines dans les tuyaux de rayonnement thermique à la phase N°1 qu'à la phase N°2, ou on constate que la chaleur rayonnée à partir des tuyaux de rayonnement thermique à la phase N°1 est plus importante qu'à la phase N°2. La sélection de la zone pour la phase N°1 et pour la phase N°2 est faite en fonction de la priorité accordée à chaque zone considérée. Le schéma de fonctionnement du système est indiqué sur la figure à gauche.

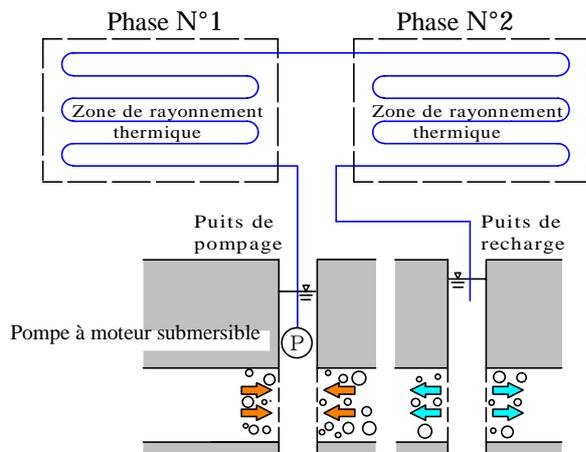


Fig.6. Description sommaire de la réutilisation de l'eau souterraine par le système

La relation entre la température atmosphérique, c'est-à-dire la température de l'air, et la température à la surface de la chaussée au niveau de la phase N°1 et de la phase N°2 est indiquée sur la Figure 7. (a) – (d).

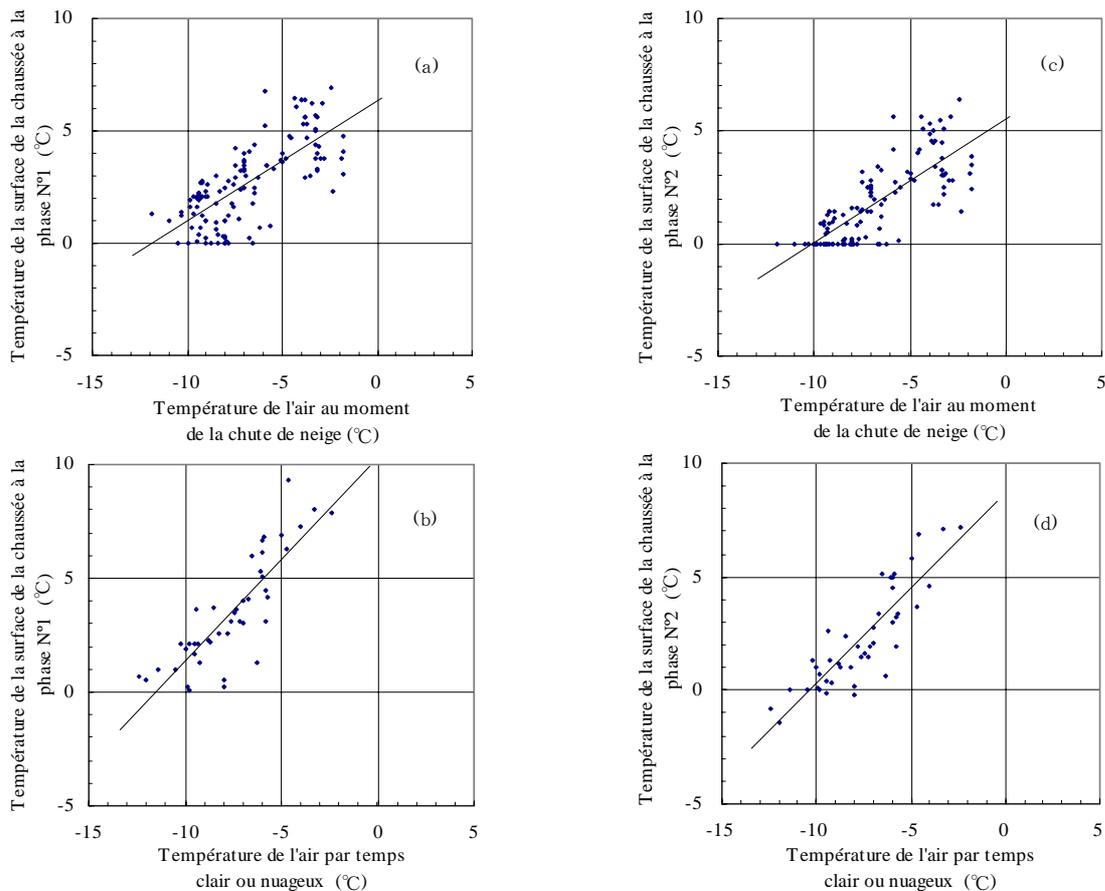


Fig.7 Relation entre la température de l'air(température atmosphérique) et la température à la surface de la chaussée lors de la Phase N°1 et de la Phase N°2 (Quantité d'eaux souterraines, 0,8 litres/min/m<sup>2</sup>)

Ce système possède les avantages suivants.

1. Seulement la moitié de la quantité d'eaux souterraines est nécessaire comparé avec le système de base.
2. Une réduction du nombre de puits d'eaux souterraines à construire.

#### 4.2.2 Réutilisation des eaux souterraines comme source d'énergie thermique ou pour d'autres systèmes de thermopompe avant de recharger la nappe aquifère

La réutilisation peut s'appliquer même lorsque la température des eaux souterraines n'est pas très élevée car la chaleur est récupérée des eaux souterraines par une thermopompe avant la recharge de la nappe par le système. Le schéma de fonctionnement du système est indiqué sur la figure ci-dessous.

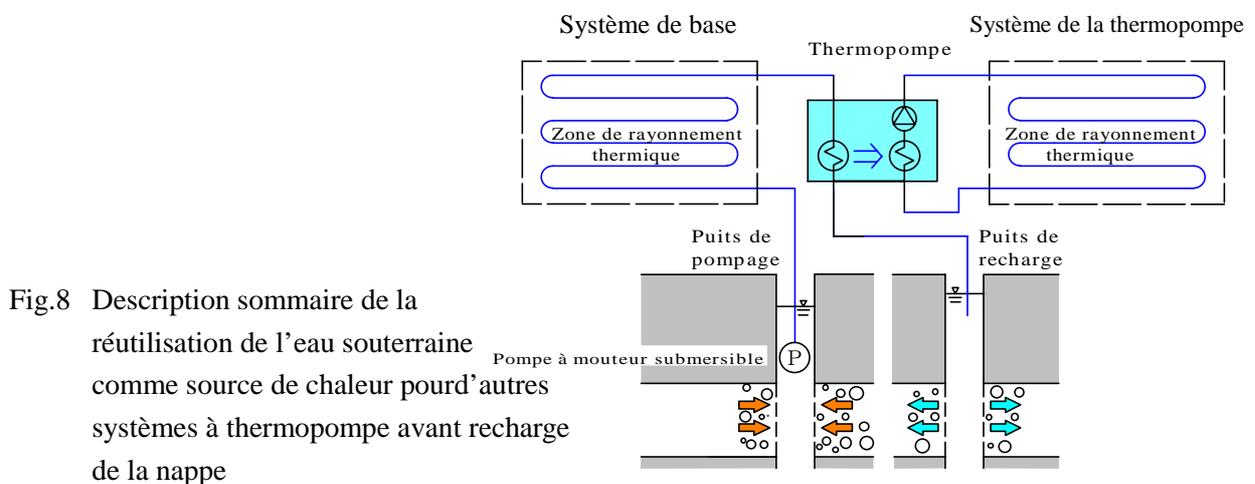


Fig.8 Description sommaire de la réutilisation de l'eau souterraine comme source de chaleur pour d'autres systèmes à thermopompe avant recharge de la nappe

Ce système possède les avantages suivants.

1. Seulement la moitié de la quantité d'eaux souterraines est nécessaire comparé avec le système de base.
2. Une réduction du nombre de puits d'eaux souterraines à construire.
3. Une réduction des heures d'opération pour la zone couverte par le système à thermopompe à cause du système de circulation.

Les résultats de la mise en opération réelle de ce système installé dans la ville de Morioka, située dans la région nord-est du Japon sont indiqués ci-dessous en même temps que les conditions météorologiques durant la période considérée.

Tableau 2. Résultats de la mise en opération réelle de ce système installé dans la ville de Morioka (Hiver 2000 – 2001)

Nombre total d'heures durant lesquels il y a eu des chutes de neige	Nombre total d'heures avec des températures en-dessous de 0°C	Heures d'opération de la pompe à moteur insubmersible	Heures d'opération de la thermopompe
197,7 heures	1.513,4 heures	1.259 heures	431,2 heures

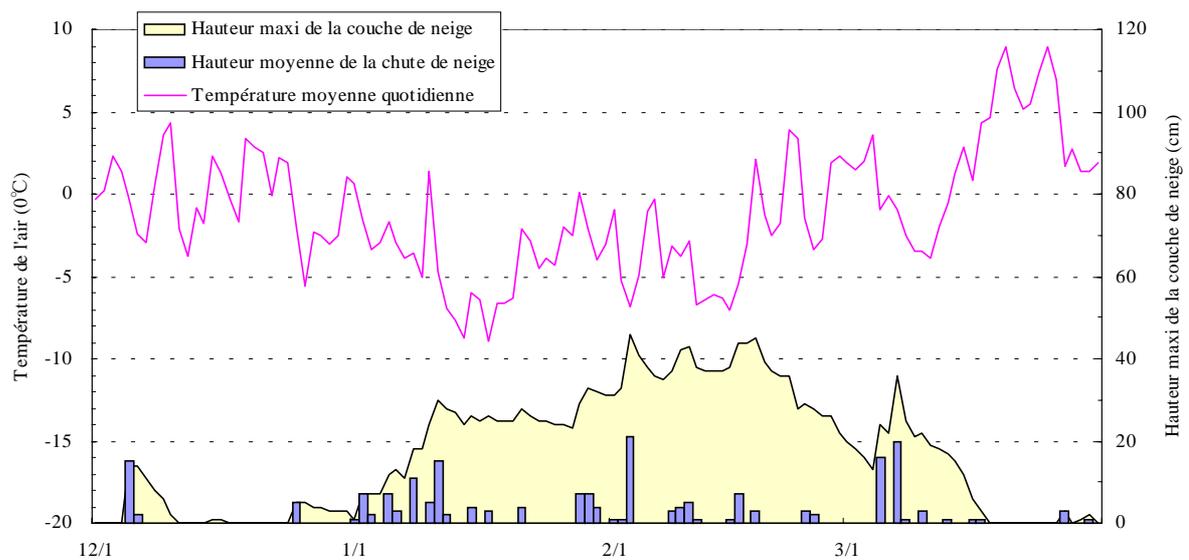


Fig.9 Les conditions météorologiques durant la période d’opération réelle du système dans la ville de Morioka (2000 – 2001)

#### 4.2.3 Utilisation d’une énergie recyclable

Le stockage de l’énergie thermique (soit chaude soit froide) dans la nappe aquifère au moyen de l’infiltration des eaux souterraines a été réalisé récemment dans la pratique au moyen d’une thermopompe non seulement pour les systèmes destinés à faire fondre la neige mais également pour les systèmes de climatisation d’immeubles. Ce stockage et cette récupération de l’énergie thermique dans le système aquifère sont opérés sur une base saisonnière. Ce qui signifie que les eaux souterraines sont réchauffées durant l’écoulement dans les tuyaux de rayonnement thermique (qui jouent en somme le rôle de collecteurs solaires) par l’énergie solaire et infiltrées dans la nappe aquifère durant l’été, et pompées de nouveau durant l’hiver suivant avec une température supérieure à la normale. Le schéma de fonctionnement du système est indiqué sur la Figure 9.

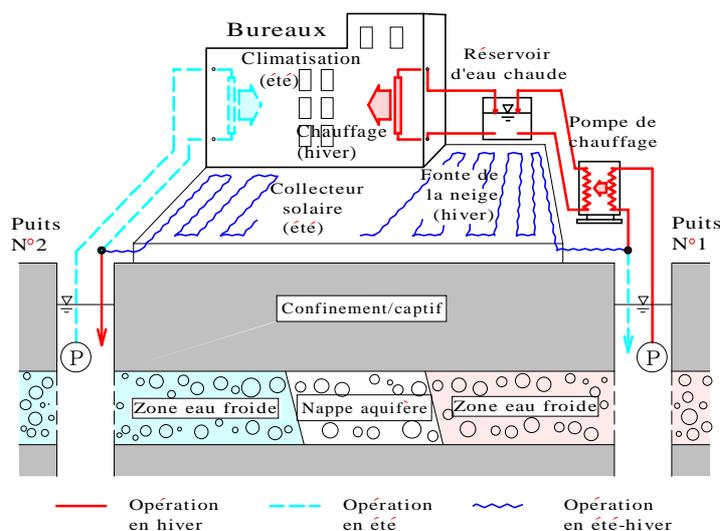


Fig.10 Utilisation d’une énergie recyclable

Ce système possède les avantages suivants.

1. Il permet une réduction de la quantité d'eaux souterraines requises pour les systèmes destinés à faire fondre la neige en raison de la température plus élevée des eaux souterraines.
2. Il peut être appliqué aux systèmes de climatisation/conditionnement d'air également avec un coefficient d'efficacité supérieur (COP/Coefficient of Performance) d'une thermopompe en raison de la température plus élevée (plus basse) que la normale des eaux souterraines.

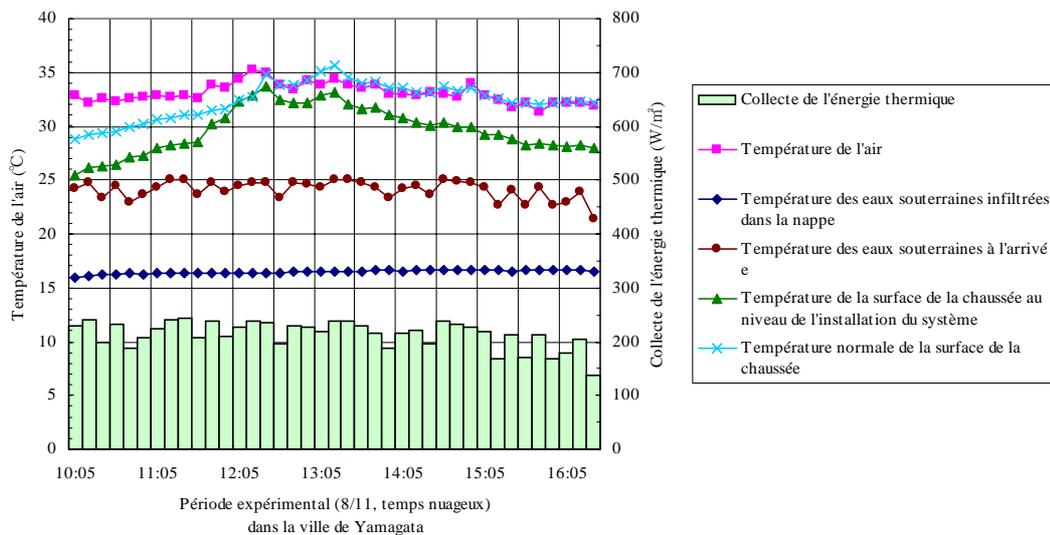


Fig.11 Système jouant le rôle de collecteurs solaires durant l'été dans la ville de Yamagata

## 5. Conclusion

Nous sommes persuadés qu'actuellement le système de base destiné à faire fondre la neige sans arrosage d'eaux souterraines est toujours un système permettant d'économiser l'énergie car il utilise efficacement de l'énergie inutilisée.

Toutefois, nous poursuivons nos efforts afin d'améliorer les systèmes destinés à faire fondre la neige afin de réaliser des économies d'énergie et de réduire la charge qui pèse sur l'environnement d'une manière ou d'une autre, considérant que ces perturbations de l'équilibre de l'environnement constituent aujourd'hui un avertissement pour l'ensemble de la planète.

## Références et sources

- 1) Abiko, H. 1981. " Design bases on snow melting system without sprinkling water " (Bases de conception des systèmes destinés à faire fondre la neige sans arrosage d'eau), Proceeding of Japanese Society of Snow and Ice (Automne 1981), 166.
- 2) Numazawa, K. 1999. " Design for snow melting system without sprinkling water (No.1) " (Conception des systèmes destinés à faire fondre la neige sans arrosage d'eau N°1), Proceeding of Japanese Society of Snow and Ice (16th), 111 - 116.
- 3) ASHRAE 1980. System Handbook, Chapter 38 " Snow Melting ".
- 4) Goto, N., 1997. " Snow melting system with groundwater " (Système destiné à faire fondre la neige au moyen des eaux souterraines), Proceeding of the third international conference on snow engineering, 447 - 480.