

DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE FONTE DE NEIGE ROUTIERE PAR UTILISATION DE CHALEUR PERDUE URBAINE

Elaboré par YOSHIDA Tadashi, HIRASHITA Hirofumi et TSUCHIYA Yoshiyasu

Equipe de Recherche de Technologie Avancée, Département de Recherche de Technologie de Construction, INSTITUT DE RECHERCHE DES TECHNOLOGIES DES TRAVAUX PUBLICS

Téléphone. +81-298-79-6757 / Télécopie. +81-298-79-6732

E-Mail : yoshida@pwri.go.jp, hirasita@pwri.go.jp, tutiya44@pwri.go.jp

1. Résumé

Dans les régions froides et neigeuses du Japon, des systèmes de fonte de neige routière sont utilisés pour assurer la circulation routière en hiver, en réchauffant directement la surface des routes pour faire fondre la neige.

Les systèmes de fonte de neige, n'empêchant pas la circulation lors de son fonctionnement, leur installation est souhaitée en des lieux sujets aux accidents pouvant survenir en hiver, tels que carrefours des zones urbaines à circulations routières denses. Cependant, ces systèmes sont coûteux pour la construction, l'installation et la maintenance par rapport aux méthodes d'élimination de neige par moyens mécaniques.

Par conséquent, afin de réduire les coûts de réalisation et de résoudre les problèmes existants, nous proposons d'adopter d'utiliser des sources de chaleur urbaines non exploitées et des accumulateurs de chaleur de « type urbain ». La chaleur urbaine non exploitée est la chaleur actuellement perdue (jetée) dans l'environnement. En l'utilisant comme source de chaleur, il est possible de réduire les coûts d'exploitation du nouveau système. Ainsi, l'introduction d'un accumulateur de chaleur de « type urbain » peut mettre en valeur la chaleur urbaine actuellement perdue, stabiliser la disponibilité de la chaleur requise et réduire l'encombrement des équipements à installer.

Nous avons ensuite effectué une étude comparative, avec des exemples concrets, entre un système conventionnel et un nouveau système basé sur l'utilisation de la source de chaleur du système d'égout (eaux usées) et d'un accumulateur de chaleur enterré. L'étude montre que dans l'état actuel des choses, le nouveau système est plus coûteux de 10 % environ que le système conventionnel en terme du coût total en raison du coût élevé pour la construction et l'installation de l'accumulateur de chaleur de type souterrain.

Il reste encore nécessaire de continuer la recherche, en particulier en cherchant à développer des techniques de construction économiques pour l'accumulateur thermique à adopter ainsi que des méthodes de gestion de chaleur pour assurer un bon rendement thermique en vue d'atteindre un niveau de coût inférieur à celui des systèmes conventionnels.

2. Introduction

Le transport du matériel et le transport en commun dans les régions à fortes précipitations de neige dépendant des routes; il est donc important d'assurer dans ces zones un bon état de

circulation en faisant face aux problèmes liés aux chutes de neige ainsi qu'au gel de la surface des routes. Il existe actuellement divers moyens pour faire face à ces problèmes, tels que: déblaiement mécanique par chasse-neige, pulvérisation de produits antigel, fonte de neige par un système conçu particulièrement à cet effet, etc.

Le système de fonte de neige routière, étant une installation permanente (infrastructure fixe), peut répondre aux changements de climat plus efficacement que le déblaiement de neige mécanique grâce à sa disponibilité et à sa promptitude en cas de précipitation de neige ainsi qu'à sa non-perturbation de la circulation routière hivernale qui est souvent lourde. Il est cependant à noter que le système de fonte de neige routière nécessite des investissements initiaux considérables et des coûts d'exploitation/maintenance élevés. Son application n'est donc actuellement limitée qu'en des points particuliers (aménagements non linéaires, mais ponctuels).

3. Systèmes de fonte de neige conventionnels

Il existe actuellement deux types de système de fonte de neige conventionnels : méthode de fonte de neige par pulvérisation d'eau (arrosage de route) (eau de nappe phréatique ou eau de mer) et méthode de fonte de neige sans pulvérisation d'eau (réchauffage direct de surface de route par fil électrique souterrain ou par canalisation souterraine de liquide chaud). Pour la méthode de fonte de neige par pulvérisation d'eau, l'existence d'eau à proximité et son utilisation libre sont importantes. Dans ce rapport, nous nous contentons de discuter ci-dessous en particulier de la seconde méthode: le système de fonte de neige sans pulvérisation d'eau.

3.1 Exigences du système de fonte de neige sans pulvérisation d'eau

Selon les résultats d'une enquête⁽¹⁾ effectuée sur des administrateurs des installations routières, il s'est avéré que 60 % des répondants citent l'économie en tant que problème majeur pour le système de fonte de neige routière. Ceci explique que la divulgation lente du système est due principalement à leurs coûts d'investissements initiaux élevés. Environ 90 % des systèmes de fonte de neige sans arrosage de route ont été réalisés dans les zones à haute densité d'habitation⁽¹⁾, démontrant que la demande est forte particulièrement dans les zones urbaines à circulation routière dense.

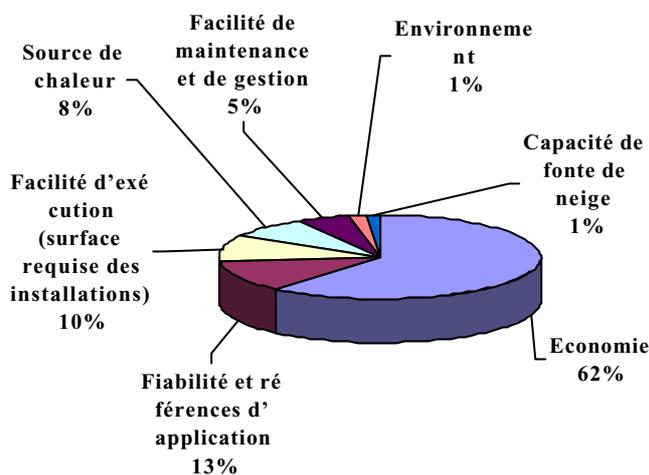


Figure 1. Problématique concernant le système de fonte de neige existant

3.2 Avantages et désavantages des installations ne faisant pas appel à la pulvérisation d'eau

Le Tableau 1 montre la comparaison économique entre divers types d'installations de fonte de neige, calculée sur la base des mêmes capacités de fonte et de la même surface de fonte. Les méthodes utilisant les sources d'énergie naturelle (nappe phréatique, géothermique, solaire, éolienne, etc.) présentent des coûts de construction élevés, cependant des coûts d'exploitation peu

élevés grâce à leur disponibilité abondante dans l'environnement naturel. Il est à souligner en particulier que le coût total de la méthode « eau souterraine » et de la méthode « pompe thermique avec source de chaleur du système d'égout » est équivalent ou même inférieur à celui de la méthode « chaudière eau chaude ».

Le coût total des systèmes de fonte de neige peut être réduit tout d'abord par l'utilisation des sources d'énergie perdue, puis par le développement de méthodes de construction peu coûteuses.

Tableau 1. Avantages des méthodes de fonte de neige sans pulvérisation d'eau

Conditions de base: Chaleur rayonnée = 170 watts/m², Surface de fonte = 2.000 m²

Méthode	Chaudière (circulation liquide non gelant)	Fil électrique de rayonnement de chaleur	Eau souterraine (retournée à la nappe)	Echange de chaleur souterraine	Chaleur solaire accumulée	Pompe thermique avec source de chaleur d'air	Génération d'électricité éolienne (*note 1)	Pompe thermique avec source de chaleur du système d'évacuation eaux usées
Avantages/désavantages	Coût initial			Elevé : Les puits d'échange thermique sont chers.	Elevé : La construction du système d'accumulation de chaleur est coûteuse.	Elevé : La capacité de la pompe thermique est grande et donc coûts élevés.	Elevé : La construction de moulin est onéreuse.	Elevé : La pompe thermique est chère.
		Coût d'exploitation	Elevé : La consommation de combustible pour chaudière importante.	Dispendieux : Consommation d'électricité élevée.	Economique peu élevé : Grâce à l'utilisation de la chaleur d'eau de la nappe phréatique.	Economique peu élevé : Grâce à l'utilisation de la chaleur souterraine.	Economique peu élevé : Grâce à l'utilisation de la chaleur solaire.	Relativement peu élevée : La vente d'électricité excédentaire est possible.
Rapport de coût total (*note2)	130	160	100 (Référence)	220	240	140	245	135

*note 1 : Conditions d'étude pour la génération d'électricité éolienne : Surface = 1281 m², Rayonnement chaleur = 200 Watt/m²

note 2 : Coût total = coût initial + coût d'exploitation (20 ans)

4. Mise en valeur des énergies non exploitées

Le Tableau 2 montre les énergies actuellement non exploitées mais utilisables pour profiter de leurs coûts d'exploitation avantageux. De ces sources, les sources de chaleur urbaines sont à entreprendre en raison de leur disponibilité abondante et de leur facilité de traitement pour les zones peuplées nécessitant les installations de fonte de neige.

Tableau 2. Classification des sources de chaleur

Type d'énergie	Forme de chaleur	Application à l'équipement de fonte de neige sans pulvérisation d'eau	
Energie naturelle	Energie non exploitée	Eau souterraine	Nombreuses applications, telles que type retour d'eau à la nappe phréatique
		Chaleur géothermique	Exemples : tube thermique, échange de chaleur souterraine, etc.
		Chaleur solaire	Exemples : accumulation de chaleur au sous-sol peu profond, accumulation de chaleur dans le remblai
		Vent	Exemple : génération d'électricité éolienne
		Chaleur atmosphérique	Applications nombreuses de pompe thermique avec source de chaleur atmosphérique
		Chaleur d'eau de mer	Exemples : tube thermique
		Chaleur d'eau de rivière	Aucune application jusqu'à présent
Energie locale	Chaleur urbaine perdue	Chaleur perdue du réseau eaux usées	Exemples : tube thermique, etc.
		Chaleur perdue émanant du métro	Applications de pompe thermique avec source de chaleur d'air évacué du métro
		Chaleur perdue émanant de la station de transformation électrique	Applications existent.
		Chaleur perdue émanant des bâtiments	Aucune application jusqu'à présent
		Chaleur perdue des usines	Aucune application jusqu'à présent
		Chaleur émanant d'incinération des ordures	Exemples : échange thermique avec chaleur de vapeur, application de la chaleur perdue RDF, etc.
		Chaleur émanant des sources thermales	Exemples : application directe, échange thermique, tube thermique, etc.
Energie fossile	Chaudière d'eau chaude	Nombreuses applications de chaudières d'eau chaude	
	Chaleur électrique	Nombreuses applications de fils électrothermiques	

4.1 Etude sur le bilan thermique : chaleur requise pour la fonte de neige et la disponibilité des énergies non exploitées

Afin d'utiliser la chaleur urbaine perdue, il est indispensable d'examiner la possibilité d'assurer la quantité de chaleur requise pour faire fondre la neige sur la route.

Nous avons effectué une étude de bilan thermique sur 31 villes enneigées du Japon dont le nombre d'habitants est de 100,000 et plus; en calculant les quantités de chaleur non utilisée disponibles et les quantités de chaleur nécessaires pour la fonte de neige. Et ce sur une échelle urbaine (macroscopique) et sur la base du Tableau 2 ci-dessus.

Suite à cette étude, nous avons constaté que dans toutes ces 31 villes en question, la quantité de chaleur requise pour la fonte de neige s'avère plus grande que la quantité de chaleur disponible. Il est cependant à noter qu'il existe 11 villes dont le taux de suffisance d'énergie est supérieur à 1/3. Ceci veut dire qu'il est possible, dans ces villes, d'assurer la quantité de chaleur pour la fonte de neige si l'on peut stocker une quantité de chaleur correspondant à deux jours. En d'autres termes, on peut supposer que dans bon nombre de villes la fonte de neige routière est faisable, même en cas de précipitation maximale si l'on accumule la chaleur nécessaire lors des périodes où les chutes de neige ont momentanément cessé.

De plus, nous avons fait une étude de bilan thermique, en maille de 1 km, en particulier le long des routes principales de ces 31 villes. Cette étude en maille montre qu'il existe suffisamment des énergies non utilisées exploitables, surtout dans les zones urbaines où la récupération de chaleur est relativement facile grâce à leur système d'égout traitant de grands volumes d'eaux usées.

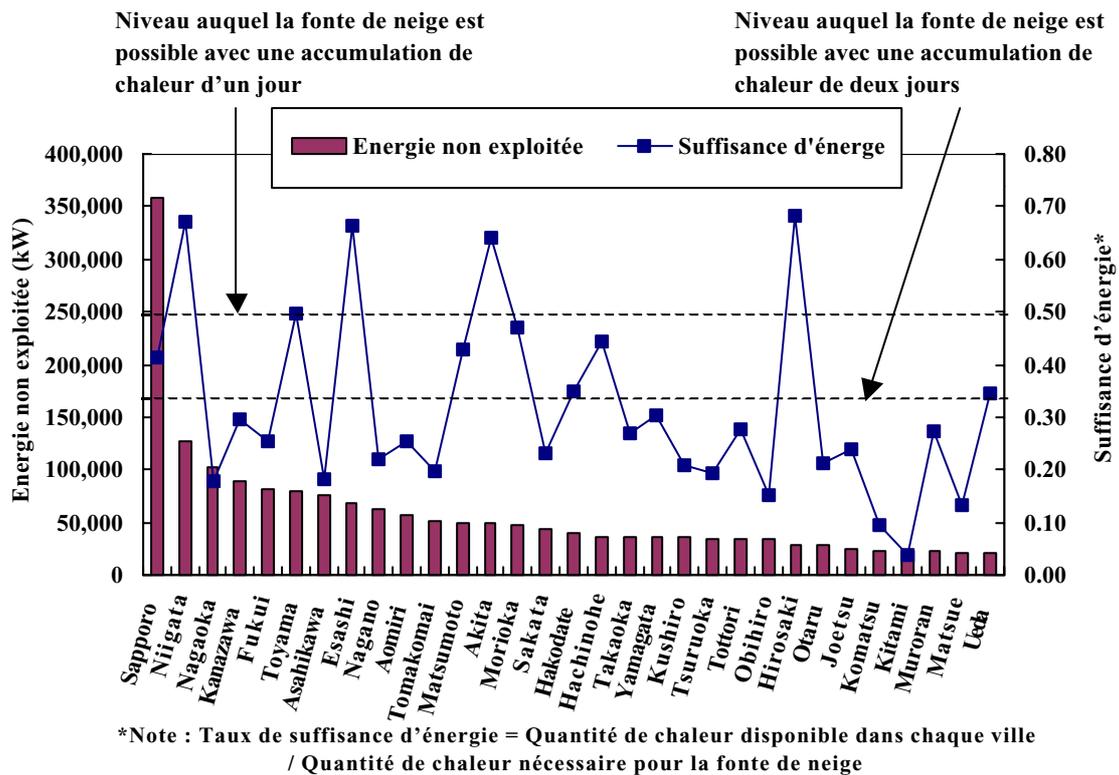


Figure 2. L'énergie non exploitée et le taux de suffisance d'énergie ⁽²⁾
(cas : précipitation de neige maximale)

Basé sur les résultats de cette étude, les points suivants ont été confirmés :

- (1) L'accumulation de chaleur doit permettre d'exploiter, dans des zones plus étendues, les énergies urbaines non utilisées pour réaliser un système de fonte de neige routière.
- (2) Il existe, en zones urbaines centrales à forte densité à habitants, de grandes quantités de chaleur qui seront exploitables pour fournir la chaleur requise pour effectuer la fonte de neige routière.

4.2 Caractéristiques de la source de chaleur du réseau d'égout

Voici quelques caractéristiques de la source de chaleur, qui semble la plus prometteuse selon l'étude de bilan thermique décrite ci-dessus.

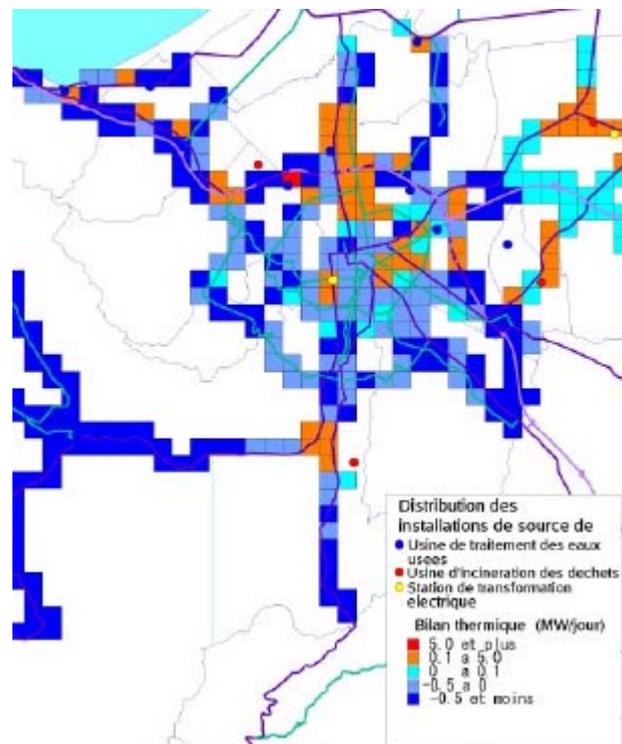


Figure 3. Exemple du résultat d'une analyse en maille ⁽²⁾
(ville de Sapporo : Cas de la précipitation de neige maximale)

La température de l'eau non traitée du système d'égout présente 12 à 15 degrés C même pendant l'hiver. Elle s'abaisse pendant la journée, car l'eau froide (neige fondue) entre dans le réseau. Par ailleurs, le débit devient faible au petit matin. De ce fait, on peut comprendre que la chaleur récupérable fluctue selon l'heure, comme l'indique la Figure 4 : l'énergie récupérable devient faible au début du jour (2:00 à 6:00) et au début de l'après-midi (12:00 à 16:00), alors qu'elle augmente généralement dans la matinée (8:00 à 12:00) et le soir (18:00 à 1:00).

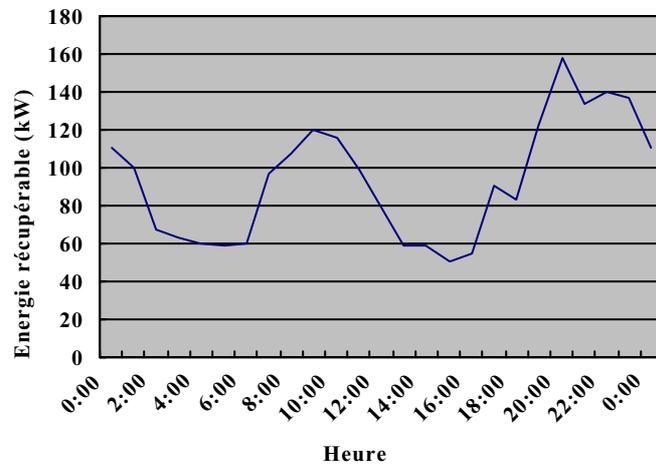


Figure 4. Énergie potentielle récupérable d'un système d'égout (conduite de diamètre 600 mm)

5. Effets d'un accumulateur de chaleur

5.1 Alimentation stable en chaleur requise

Comme indiqué plus haut, la quantité d'énergie non utilisée exploitable varie suivant le temps. Il peut y avoir des périodes où la chaleur disponible ne peut répondre à la demande. Cependant, étant donné que la chute de neige n'est ni constante ni toujours en continu, il est supposé qu'en cas d'utilisation d'un type d'énergie sujette à des fluctuations, la fonte de neige sera réalisable même lors de forte précipitation de neige si l'on applique au système l'accumulation de chaleur en même temps. (Voir Figure 5)

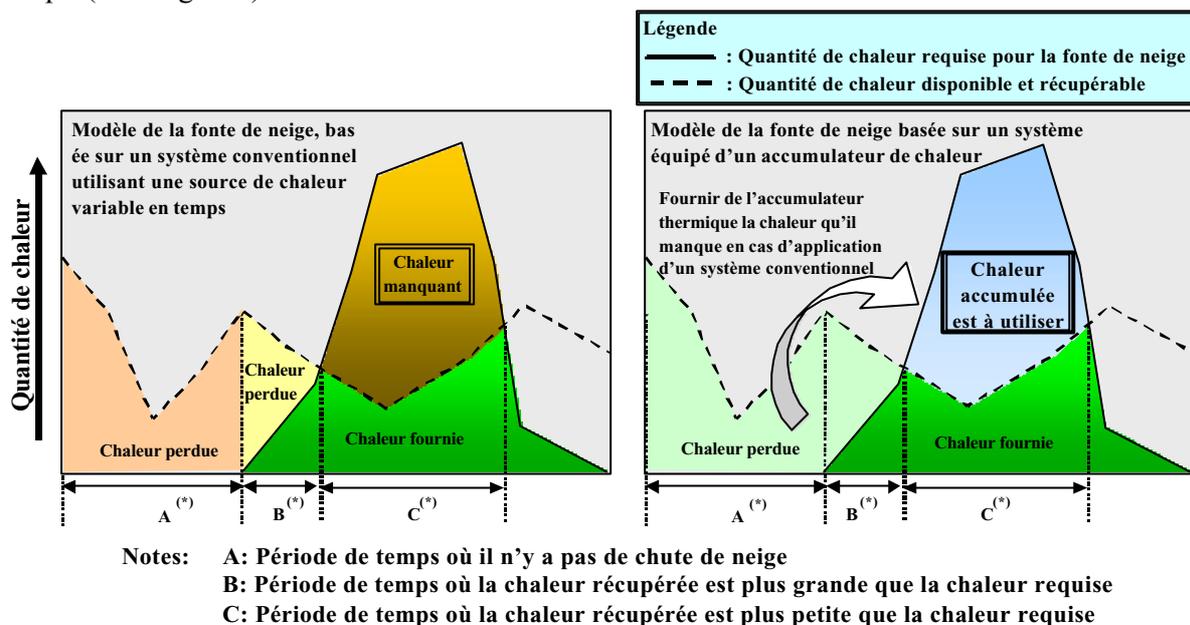


Figure 5. Mesure à prendre en cas de forte précipitation de neige

Par ailleurs, il existe comme technique d'accumulation de chaleur, l'accumulation de chaleur solaire dans un remblai de sol. Elle consiste à accumuler pendant l'été la chaleur solaire dans un

remblai de sol afin que l'on puisse l'utiliser en hiver. Cette technique, visant principalement à répondre aux changements saisonniers de la chaleur, nécessite un grand volume de remblai de terre (travaux de génie civil considérables) correspondant à la quantité de chaleur requise (importante). En plus, à cause de son bas rendement thermique (perte de chaleur considérable) les coûts de construction deviennent très élevés.

Compte tenu de ce qui précède, nous proposons à cette fin un « accumulateur thermique de type urbain » applicable aux sources de chaleur urbaines non utilisées, comme il est résumé ci-dessous:

- Cette méthode n'envisage pas l'alimentation totale en chaleur requise à un temps donné pour la fonte de neige. Elle a pour fonction de compléter le système en cas de manque de chaleur depuis l'accumulateur thermique qui est capable de stocker la chaleur d'un ordre de quelques heures à quelques jours d'énergie pour la fonte de neige, et ce afin de minimiser les dimensions (capacité) de l'accumulateur.

- Cette méthode doit être peu coûteuse et permettre une installation facile en ville (peu encombrant), permettant un bon rendement thermique.

5.2 Minimisation des dimensions du système

Pour réduire l'encombrement de l'accumulateur du système (échangeur thermique, pompe thermique, etc.), il suffit de

n'utiliser la chaleur accumulée qu'en cas de manque de chaleur de la source de chaleur prévue. En effet, dans le design conventionnel des équipements, tels que pompe thermique et échangeur thermique, leurs capacités sont généralement calculées pour la fonte de neige correspondant à la quantité de neige maximale (de crête). Si l'on introduit un accumulateur de chaleur dans ce système, cet accumulateur contribuant à la

fonte d'une partie de la neige, la capacité requise peut être calculée sur la base de la quantité de chaleur ainsi déduite. Ceci mène au dimensionnement minimal des installations de la source de chaleur (pour récupérer de la source l'énergie exploitable). (Voir Figure 6)

L'accumulateur de type urbain permettra non seulement de stabiliser l'alimentation en chaleur, mais également de réduire la capacité du système de fonte de neige et ainsi de limiter le coût total du système à réaliser.

6. Exemple du système avec accumulateur thermique

Nous proposons ci-dessous un système équipé d'un accumulateur de chaleur ayant les conditions de calcul: surface = 2000 m², chaleur rayonnée= 170 W/m².

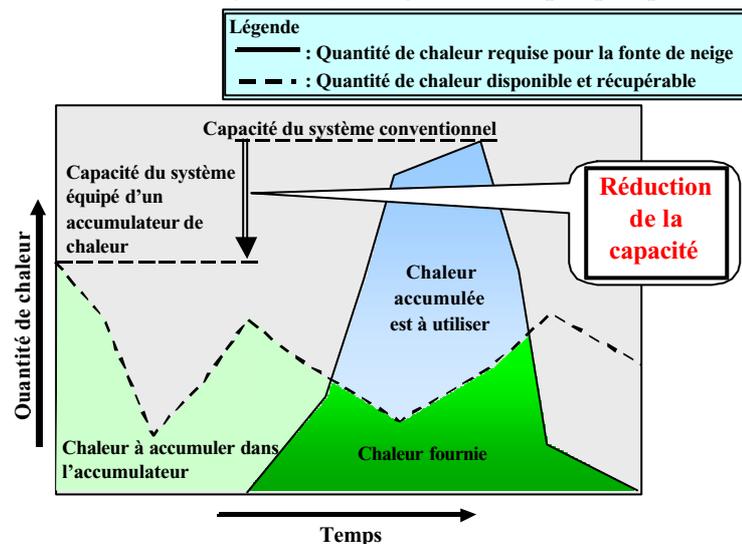


Figure 6. Dimensionnement minimal des installations

Tableau 3. Comparaison entre le système conventionnel (méthode pompe thermique avec source de chaleur d'eau souterraine) et le système de stockage thermique souterrain (stockage de chaleur souterraine + pompe thermique avec source de chaleur d'eau souterraine)

Conditions de base: Chaleur rayonnée = 170 watts/m², Surface de fonte = 2.000 m²

Item		Système conventionnel (pompe thermique avec source de chaleur d'eau souterraine)	Système de stockage thermique souterrain (stockage de chaleur souterrain + pompe thermique avec source de chaleur d'eau souterraine) (*note)
Capacité	Pompe thermique	Puissance 340 kW	Puissance 220 kW (*note 2)
	Echangeur de chaleur du réseau d'eaux usées	100 (référence)	65 approxi. (*note 2)
Economie	Investissement initial	181.600.000 yens	202.700.000 yens
	Coût d'exploitation (20 ans)	26.700.000 yens	24.300.000 yens
	Coût total (20 ans)	208.300.000 yens	227.000.000 yens
Stabilité de la capacité de fonte de neige	Réponse aux fluctuations en précipitation de neige et en chaleur récupérable disponible	Capable de répondre aux fluctuations seulement dans les limites de récupération thermique disponible de la source de chaleur	Capable de répondre aux fluctuations même en cas de bas niveau de chaleur récupérable disponible, en complétant la chaleur par celle stockée dans l'accumulateur de chaleur. Après épuisement du réservoir de chaleur cependant, ce système ne sera capable de fournir qu'environ la moitié de la chaleur par rapport au système conventionnel.
Rendement	Exploitabilité de la chaleur disponible de la source thermique (= Rapport: chaleur utilisée pour fonte neige / chaleur disponible totale)	Bas rendement: le système ne fonctionne que lors de chute de neige. Le taux d'utilisation de la chaleur disponible est faible.	Rendement élevé: le système fait l'appoint de l'accumulateur thermique lorsqu'il n'y a pas de chute de neige afin que la chaleur récupérée puisse être utilisée en tant que complément pour faire fondre la neige lors de précipitation de neige. Le taux d'utilisation de la chaleur disponible est donc élevé.

*Note : Basé sur un modèle pouvant fonctionner à 100 % de la capacité, dont 50 % sera assuré par pompe thermique et le reste 50 % par l'accumulateur de chaleur souterraine.

L'introduction d'un accumulateur de chaleur est fort efficace grâce à ses coûts de construction réduits surtout lorsque la durée du service à la charge maximale est limitée. Cependant, après épuisement de l'accumulateur de chaleur, ce système ne sera capable de fournir qu'environ 50 % de la chaleur par rapport au système conventionnel. Il est donc nécessaire de prévoir une marge adéquate lorsque l'on dimensionne la capacité de l'accumulateur.

Selon un calcul d'essai, le coût total du système avec accumulateur reste encore plus élevé d'environ 10 % que le système conventionnel, et ce dû aux coûts de construction élevés de l'accumulateur (voir Tableau 3).

Il reste encore nécessaire de continuer la recherche. En particulier en cherchant à développer des techniques de construction moins coûteuses pour l'accumulateur thermique; à minimiser le dimensionnement des installations et à établir une méthode de design du système dans son ensemble en vue d'atteindre un coût total inférieur par rapport à celui du système conventionnel.

7. Points clés pour la réalisation du système

Afin de réduire le coût total de la réalisation du système équipé d'un accumulateur de chaleur, les deux points suivants doivent être envisagés :

7.1 Technologie de construction relative à l'accumulateur de chaleur

A cause de la limitation en ville de la surface disponible pour l'accumulateur de chaleur, la plupart des accumulateurs ont de petites sections : ils sont longs dans le sens longitudinal pour assurer le volume requis. Une grande profondeur est alors nécessaire pour son installation, ceci devant mener inévitablement à un coût élevé et à un délai prolongé pour l'exécution des travaux.

Le coût peut être réduit par adoption d'un accumulateur long ayant une petite épaisseur de paroi, lequel a pour fonction secondaire d'échanger la chaleur avec le sol souterrain. Le sol souterrain à proximité de l'accumulateur servira, dans ce cas, de support d'accumulation thermique.

Il existe par ailleurs une autre méthode, consistant à installer en dessous de la route, des conduits en béton qui seront remplis d'eau, comme dans le cas d'un système de réchauffage/climatisation régional. Les dalots en béton préfabriqué d'usage courant peuvent être appliqués à cette méthode pour réduire les coûts et la durée des travaux de l'accumulateur.

7.2 Techniques de gestion de chaleur

Il est nécessaire de développer un système de gestion de chaleur à haut rendement, et ce (1) pour déterminer un équilibre optimal entre la chaleur requise (conditions d'étude) et les capacités du collecteur thermique et de l'accumulateur thermique, (2) pour contrôler en temps réel l'alimentation thermique (exemple : X % de la chaleur à fournir à partir de la source de chaleur et Y % à partir de l'accumulateur enterré) et (3) pour minimiser les dimensions des installations.

Les capacités d'un collecteur thermique et d'un accumulateur thermique sont dérivées par entrée de la chaleur nécessaire pour la fonte de neige (donnée séquentielle en temps) et la chaleur récupérable (donnée séquentielle en temps) et par calcul de leur bilan thermique. Les systèmes ayant des capacités minimales et présentant de hauts rendements thermiques peuvent être sélectionnés et normalisés suite à une série d'études des collecteurs thermiques et des accumulateurs de chaleur qui sont de dimensions diverses.

8. Conclusion

L'adoption d'un accumulateur de chaleur peut stabiliser l'alimentation thermique requise pour la fonte de neige et minimiser le dimensionnement du système de fonte de neige routière.

Les technologies d'élément de base comme illustrées en Figure 7 sont à développer afin de minimiser le coût total. De plus, nous devons également chercher à étudier les sources de chaleur urbaines autres que le système d'égout en vue d'établir des systèmes de fonte de neige plus économiques et flexibles pour leur mise en application.

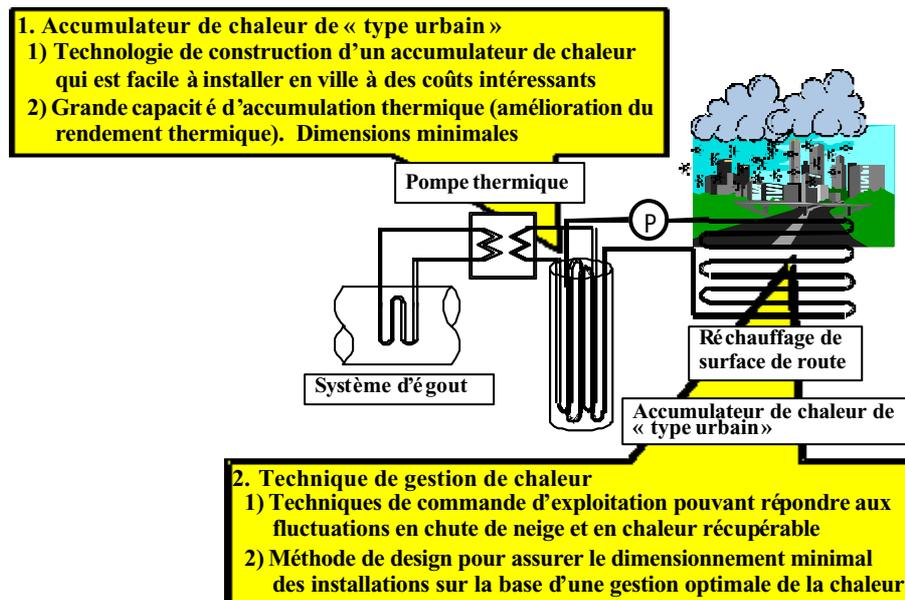


Figure 7. Développement des technologies d'éléments pour la réalisation du système de fonte équipé d'accumulateur

9. Ouvrages de référence

- (1) Tohoku Regional Development Bureau (1994) "Entrusted surveys of non-spraying snow-melting systems in fiscal 1993"
- (2) Public Works Research Institute (2000) "The facility for melting on-road snow by using new heat" Technical Memorandum of PWRI No.374