

ESSAI DEMONSTRATIF DES INSTALLATIONS DE FONTE DES NEIGES FONCTIONNANT AVEC DES ENERGIES DISPONIBLES SUR PLACE

Par Osamu Yokotsuji*, Takeo Hiraku* et Seiichi Kagaya**

*Fondation de la Gestion et de Support pour la
Région de Hokkaido
2-2, Nord 5, Ouest 6, Chuo-ku Sapporo,
Hokkaido, 060-0005 Japon
TEL.+81-11-205-5011/FAX.+81-11-205-5050
E-mail:yokotsuji@hamanasu.or.jp

** Professeur de cours post-universitaire de
l'Université de Hokkaido
Nord 13, Ouest 8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido,
060-8628 Japon
TEL.+81-11-706-6210/FAX.+81-11-726-2296
E-mail:kagayas@eng.hokudai.ac.jp

1. Résumé

Les villes du nord au Japon, la ville de Sapporo y comprise, se situent dans des régions d'un climat très froid et d'abondantes chutes de neige. Les habitants des villes du nord souhaitent donc de plus en plus une meilleure qualité de la vie, non seulement en été, mais aussi en hiver. Afin de satisfaire à leurs demandes croissantes, nous avons projeté la construction d'un système d'alimentation complet en chaleur destiné au chauffage des habitations et des routes, et qui permettrait l'économie d'énergie. Ce système consiste à récupérer la chaleur de l'eau de décharge provenant des usines électriques combinées avec chauffage urbain, et la chaleur perdue des fours d'incinération d'ordures et des installations de clarification des eaux résiduaires, laquelle était inutilisée jusqu'alors. Pour l'exploitation du système, un arrangement de collaboration devra avoir lieu entre l'administration et le privé, y compris les communautés locales. La réalisation du système de chauffage urbain nécessite la révision de la capacité et l'efficacité de l'équipement.

Etant donné ce contexte, nous avons envisagé la construction d'un nouveau système public pour la fonte des neiges, qui utiliserait des énergies disponibles sur place et jusqu'alors non utilisées, et nous avons procédé à un essai démonstratif des bacs à fondre les neiges sur les lieux, afin de cerner les problèmes techniques à résoudre pour leur réalisation d'une part, de mettre au point le système de la fonte des neiges sur le plan opérationnel d'autre part.

Les principaux points à examiner avant la mise en place et l'exploitation d'un système des bacs à fondre les neiges publics sont les suivants.

- Etude d'un système de fonte des neiges peu gourmand en énergie et dont les coûts de fonctionnement sont modérés;
- Etude d'un système facile à entretenir, à la construction duquel les riverains ne formeront pas d'opposition.

Il en résulte que l'on peut résumer la situation comme suit.

- Les bacs à fondre les neiges testés ont une construction pouvant efficacement conserver la chaleur. Cependant c'est le procédé comportant un chauffage interne et un système de brassage qui était le plus efficace. Le jet d'eau s'est avéré plus efficace qu'un simple arrosage pour fondre les neiges.
- L'utilisation en cascade de la chaleur (sa récupération à plusieurs reprises) est une méthode d'utilisation efficace de l'énergie, cependant au cas où la température de l'eau chaude disponible n'est pas suffisamment élevée, le temps nécessaire pour la fonte des neiges deviendra sensiblement long.
- Actuellement tout au plus, 70% seulement des énergies fournies par les sources de chaleur peuvent être utilisés effectivement pour la fonte des neiges. Comme le maintien de l'eau à une température déterminée consomme également de l'énergie, cette méthode laisse à

désirer, au point de vue technique.

- L'exploitation des bacs à fondre les neiges à usage en commun devra permettre la fonte des neiges, sans augmenter la charge sur l'environnement pour autant.

2. Spécification du bac à fondre les neiges

Dans le quartier où les opérations de l'essai des bacs se sont déroulées, un système de climatisation urbaine, fonctionnant essentiellement à l'huile régénérée, était mis en place. Cette source de chaleur a été donc utilisée pour notre expérimentation de bacs à fondre les neiges. Pour alimenter le bac en chaleur, un piquage a été effectué sur le réseau du chauffage urbain existant (115°C, 0,96 à 0,39 MPa) pour y brancher une conduite primaire allant à l'appareil chauffant. De là, par une conduite secondaire (80°C, avec un antigel comme fluide caloporteur) la chaleur a été amenée jusqu'au bac. Les deux conduites étaient équipées respectivement d'un échangeur de chaleur.

Le bac à fondre les neiges avait une capacité supposée suffisante pour fondre le volume des neiges amoncelées d'une hauteur de 15 cm sur une superficie de 280 m², équivalente à la superficie à déblayer de 8 lotissements pavillonnaires. Les dimensions des échangeurs de chaleur ont été déterminées pour que l'on puisse fondre ce volume de neige en 6 heures environ.

Les spécifications du bac à fondre les neiges sont montrées au **Tableau 1**.

Tableau 1. Principales caractéristiques du bac à fondre les neiges

Corps du bac à fondre les neiges	-En béton armé Contenance: 9,0 m ³ (1,5 m de large, 3,0 m de long et 2,0 m de haut) -Couvercles: 3 pièces en grille elle-même couverte de tôle striée
Source de chaleur	Echangeur de chaleur: À paroi en plaques soudo-brasées, 251,2MJ, d'une surface de contact de 0,4 m ²
Tuyauterie d'amenée de chaleur (conduite secondaire)	Doubles tubes à ailettes: 14,1-m-de long x 2, d'un diamètre de 91 mm
Équipement interne du bac	-Echangeur de chaleur immergé: En tube inox, 251,2 MJ, une unité, surface de contact: 2,0 m ² -Echangeur de chaleur pour l'eau de l'arrosage: À calandre, 83,7 MJ, trois unités, surface de contact: 0,4 m ² -Becs d'arrosage: Six becs, chacun possédant 8 trous de 6 mm de diamètre
Pompes de vidange et d'arrosage	-Pompe d'arrosage: 750 W, 125 litres/min, refoulement: 15 m, une unité -Pompe de jet d'eau: 250 W, 110 litres/min, refoulement: 10 m, une unité -Pompe de vidange: 250 W, 110 litres/min, refoulement: 10 m, une unité
Conduite de vidange	Tube en chlorure de polyvinyle, 13 m de long, 150 mm de diamètre
Mode de fonctionnement	-Démarrage et arrêt du fonctionnement de l'appareil respectivement à -2°C et à +2°C par rapport à la consigne. -Démarrage et arrêt de la vidange du bac respectivement à +10 cm et à -10 cm par rapport à la consigne du niveau d'eau.

3. Méthodes de l'essai

Trois types d'essai de fonte des neiges ont été menés : (i) le bac à fondre les neiges chauffé de l'intérieur (Type A), (ii) l'arrosage des neiges et des jets d'eau dans le bac (Type B), et (iii) l'arrosage des neiges dans le bac, avec de l'eau chaude (Type C). Dans le but de comparer les résultats des différents procédés de fonte des neiges, la température d'eau, le

niveau d'eau, la température à la sortie de la source de chaleur, et le rapport des débits entre l'arrosage et les jets d'eau ont été prédéterminés comme paramètres de l'essai. La **Figure 1** montre les trois types d'essai effectués. Les détails de chaque cas d'essai sont montrés au **Tableau 2**.

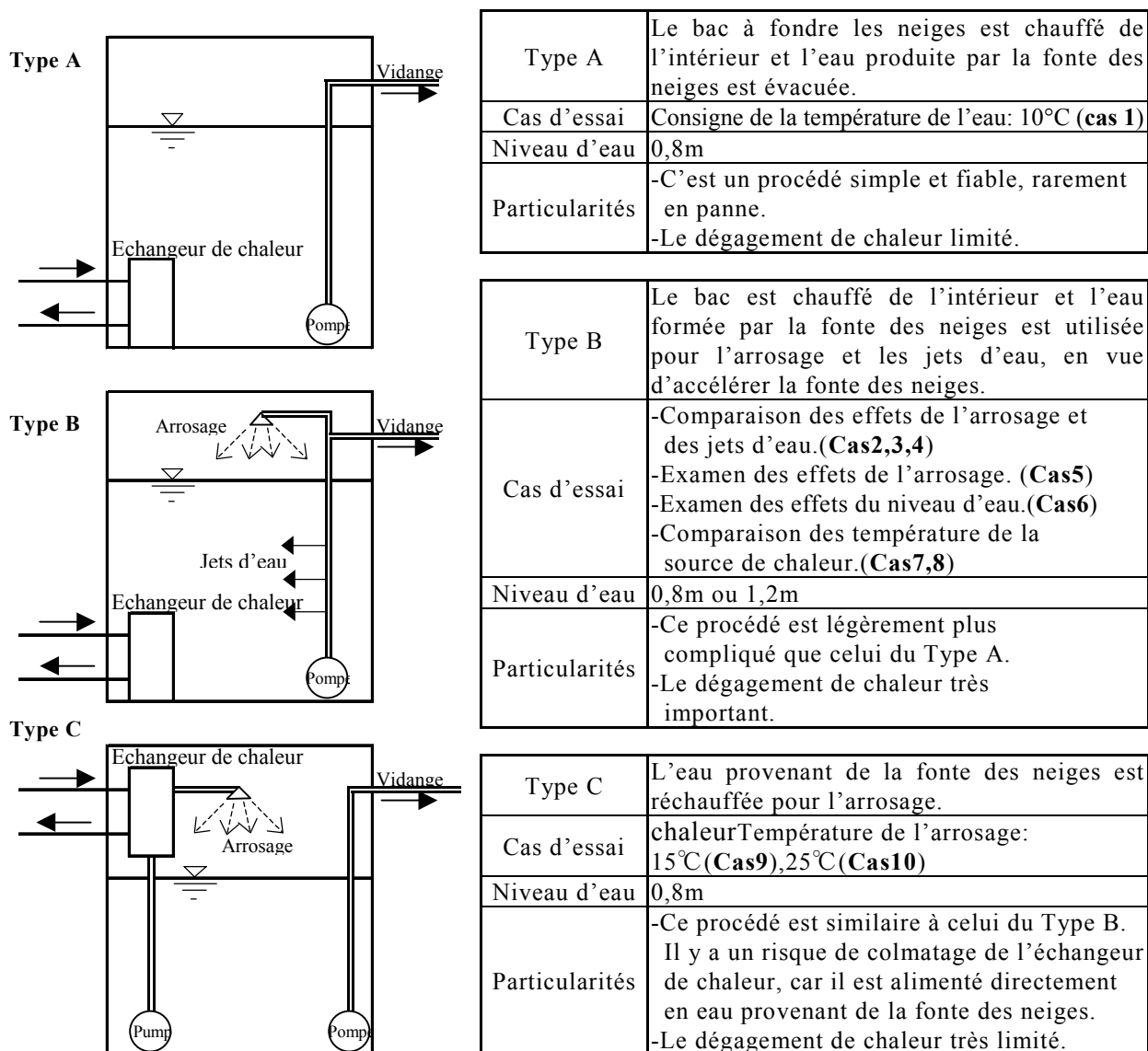


Figure 1. Comparaison entre les types.

Au cours de l'essai, les neiges ont été collectées pour la pesée dans un petit récipient (2.118 kg). Ensuite, des blocks de neige de 1 m³ ont été formés avant de les jeter dans le bac à fondre les neiges. Les conditions indiquées ci-dessous ont été observées et les données enregistrées.

- Conditions générales : Conditions météorologiques, température extérieure, température des neiges, poids et état des neiges
- Dans le bas à fondre les neiges :
 - Température ambiante (30 cm au-dessous du bord du bac)
 - Température de l'eau (30 cm et 65 cm au-dessus le fond)
- Quantité de la chaleur, etc.: Quantité de la chaleur au niveau de l'appareil chauffant et le temps nécessaire pour fondre les neiges.

Tableau 2. Cas d'essai et la température extérieure et celle de la neige durant l'essai

Type	A		B						C	
Cas d'essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Niveau d'eau(m)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8
Température de la source de chaleur (°C)	80	80	80	80	80	80	40	60	80	80
Température de consigne pour l'eau(°C)	10	10	10	10	10	10	10	10	15	25
Débit de l'arrosage (litres/min)	—	63	45	27	—	—	27	27	25	25
Débit des jets d'eau (litres/min)	—	27	45	63	63	63	63	63	—	—
Température de consigne pour le démarrage (°C)	5.4	-4.5	-11.8	-6.6	-4.5	-5.5	-8.6	-5.4	0.0	-3.1
Température de la neige (°C)	0,0	-7,8	-9,7	-5,8	-6,5	-5,8	-4,2	-6,9	-3,1	-3,2

Note: "Température de la source de chaleur" est celle du fluide à l'intérieur de la tuyauterie secondaire. "Température de consigne pour l'eau" est celle de l'eau dans le bac et de l'eau pour l'arrosage.

4. Résultats de l'essai

La série des **photos 1** montre comment le bac à fondre les neiges a été monté et les méthodes avec lesquelles les opérations de l'essai se sont déroulées. Les principaux résultats de l'essai sont indiqués au **Tableau 3**. Les mesures du cas 4 sont indiquées à la **Figure 2**. Les résultats de l'essai sont illustrés dans les **Figures 3 à 9**.



Construction du bac à fondre les neiges



Tuyauterie dans le bac à fondre les neiges (échangeur de chaleur)



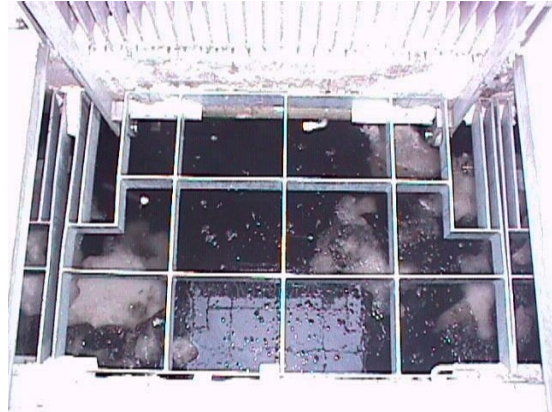
Préparation des blocs de neiges à mettre dans le bac



Eau pour l'arrosage



Intérieur du bac
(cas 5, une heure après le début)



Intérieur du bac
(cas 5, trois heures et demi après le début)

Photo 1. Photos représentant le bac et différentes opérations effectuées pendant l'essai

Tableau 3. Principaux résultats de l'essai

Type	A			B					C		
Cas d'essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Temps requis pour la fonte des neiges (h) ①	5:40	5:05	5:05	4:25	4:50	4:35	10:20	6:40	11:35	8:40	
Energie requise pour la fonte des neiges											
Quantité de la chaleur (MJ) ②	854	762	788	753	789	790	—	755	767	788	
Puissance (MJ) ③	21	21	21	19	16	14	38	27	49	40	
Total	(MJ) ④ = ② + ③	875	784	809	772	805	805	—	782	816	829
	(MJ/h) ④/①	154	154	159	175	167	176	—	117	70	96
Quantité de chaleur théorique (MJ)	707	741	759	733	736	733	725	737	720	720	
Rendement énergétique	0.808	0.946	0.927	0.949	0.914	0.910	—	0.943	0.882	0.870	

Notes

1. De l'énergie requise pour la fonte des neiges, "quantité de chaleur" signifie la quantité de chaleur transférée du système de chauffage urbain dans un échangeur de chaleur. Et "puissance motrice" signifie l'énergie électrique pour la circulation du fluide caloporteur et de l'eau, ainsi que pour l'évacuation de l'eau du bac.
2. La quantité de chaleur théorique varie en fonction de la température des blocs de neige introduits dans le bac.
3. Pour le cas 7, les températures mesurées ne sont pas indiquées, car celles mesurées étaient inférieures à la limite de mesure avec précision.

L'alimentation du bac en neiges baisse la température de l'eau à l'intérieur du bac. Elle monte et baisse alternativement, durant la phase de la fonte, mais sitôt après la disparition des neiges, elle commence à remonter presque linéairement. Le point d'inflexion que l'on peut observer au graphique peut être considéré comme le moment où les neiges ont complètement fondu. Le fonctionnement du système étant contrôlé suivant la température de l'eau dans le bac, le bac continue à fonctionner jusqu'à ce que la température atteigne la valeur préalablement fixée. Une fois qu'il s'est arrêté, la température de l'eau commence à baisser graduellement. Le bac démarrera de nouveau lorsque sa température aura atteint le niveau bas prédéterminé.

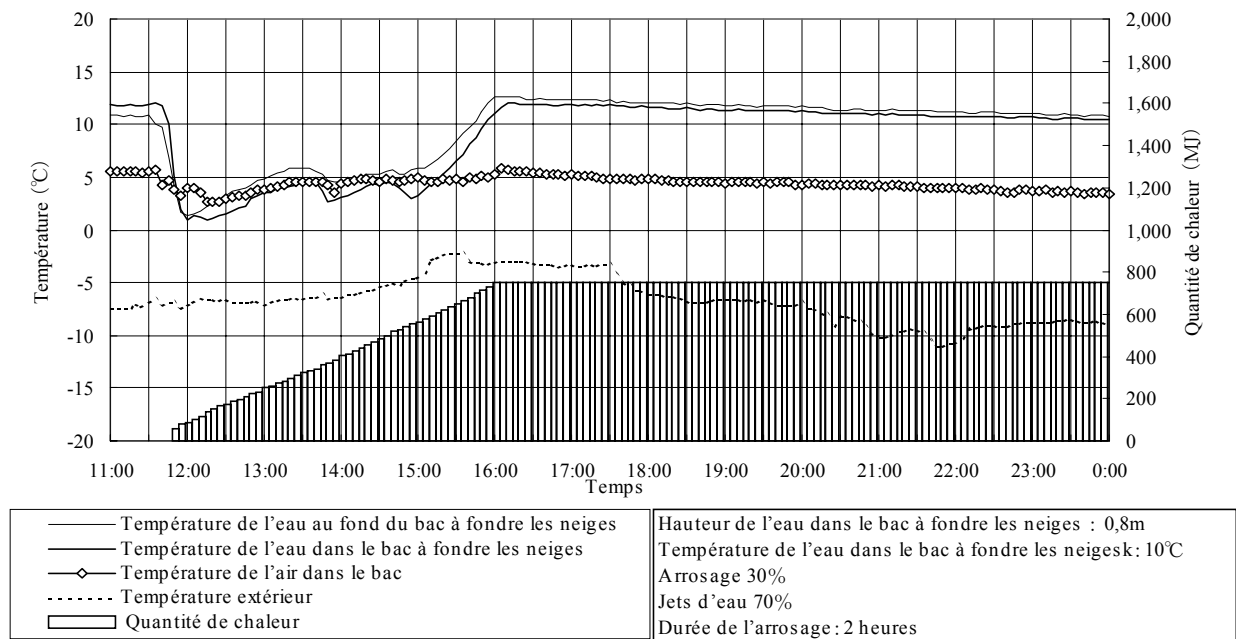


Figure 2. Mesures effectuées dans le cas 4

(1) Comparaison de différents types de procédés de fonte des neiges

Les procédés de fonte des neiges Types A à C ont été comparés sur le plan de l'énergie nécessaire pour fondre les neiges (**Figure 3**). L'arrosage et les jets d'eau permettent une fonte rapide des neiges, avec une énergie moindre. Le Type C nécessite un temps plus long pour fondre les neiges.

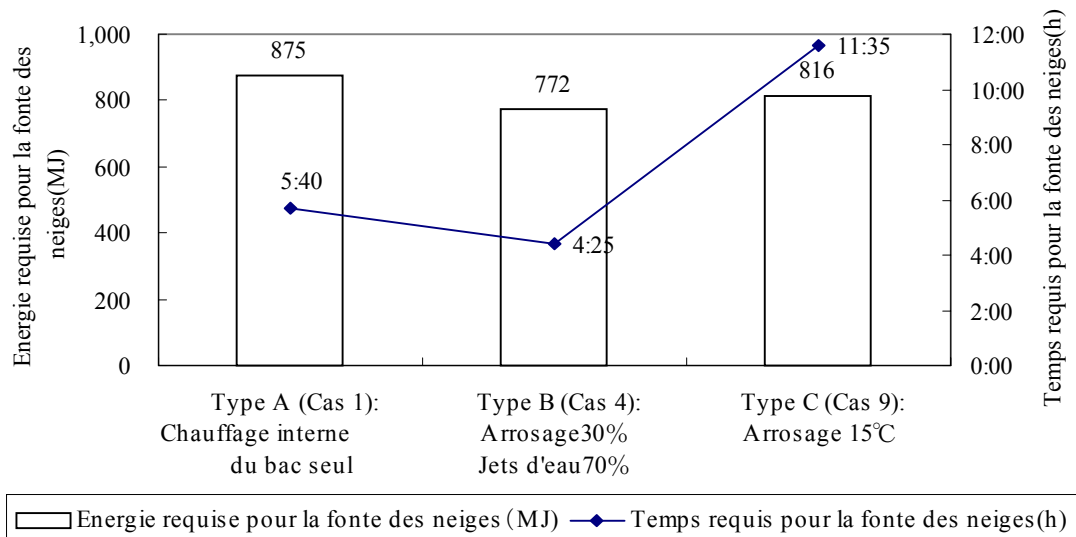


Figure 3. L'énergie et le temps requis pour fondre les neiges pour chaque type de procédés

(2) Rapport des débits entre l'arrosage et les jets d'eau du Type B

Les effets de l'arrosage et les jets d'eau sur les neiges mises en bac ont été étudiés pour

le Type B(**Figure 4**). En fixant le débit total combinée de l'arrosage et des jets d'eau à 90 litres/minute, l'efficacité du système a été examinée à différents rapports des débits de entre l'arrosage et les jets d'eau, en l'occurrence 7:3, 5:5 et 3:7. L'énergie requise pour la fonte des neiges ne variait que de l'ordre de 5% tout au plus, entre les différents rapports. Cependant, le temps nécessaire pour la fonte des neiges au rapport de 3:7 respectivement pour l'arrosage et les jets d'eau était de 4 h 25 minutes, ce qui est plus court de 15% par rapport aux autres rapports. De ce fait, il est établi que les jets d'eau dans le bac est plus efficace que l'arrosage pour raccourcir le temps nécessaire pour fondre les neiges.

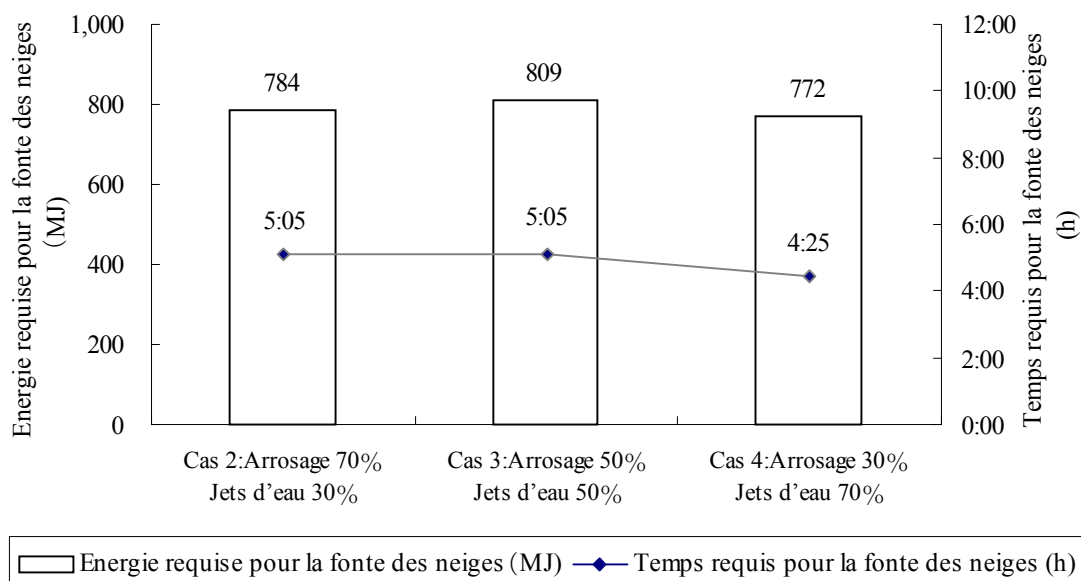


Figure 4. Rapport des débits entre l'arrosage et les jets d'eau

(3) Effets de l'arrosage et du niveau d'eau pour le Type B

Pour le Type B, les effets de l'arrosage et du niveau d'eau sur la fonte des neiges ont été examinés(**Figure 5**). Dans le cas de la fonte des neiges sans arrosage, l'énergie et le temps nécessaire pour éliminer les neiges ont été plus grands, respectivement de 4% et 9% que le cas de la fonte des neiges accélérée par un arrosage avec un débit de 30% du débit total de la tuyauterie d'eau. La pose de la tuyauterie d'arrosage rendra l'investissement initial plus lourd. Sa pose devra être décidée, en examinant les coûts nécessaires. On a observé que lorsque la hauteur de l'eau était de 1,2 m, le temps de fonte des neiges était plus court de 5% que le cas où la profondeur en était de 0,8 m, avec, toutefois, une réduction du volume des neiges pouvant être mis dans le bac.

(4) Effets de la température de la source de chaleur pour le Type B

La possibilité d'utiliser, en cascade (ou la récupération à plusieurs reprises) de la chaleur perdue d'une température relativement basse a été examinée, pour l'exploiter éventuellement comme source de chaleur du bac à fondre les neiges(**Figure 6**). Il en résulte qu'aucune variation de l'énergie nécessaire pour la fonte des neiges n'a été observée, quelque soient les températures de la source de chaleur. La fonte des neiges était plus rapide, lorsque la température de la source de chaleur était élevée. L'utilisation en cascade de la chaleur amène à un meilleur rendement quant à l'utilisation des énergies. Comme les futurs utilisateurs des bacs de fonte des neiges souhaiteraient la rapidité de la fonte des neiges, plutôt que l'économie d'énergie, des systèmes pouvant dégager de grandes quantités de chaleur seront souhaitables.

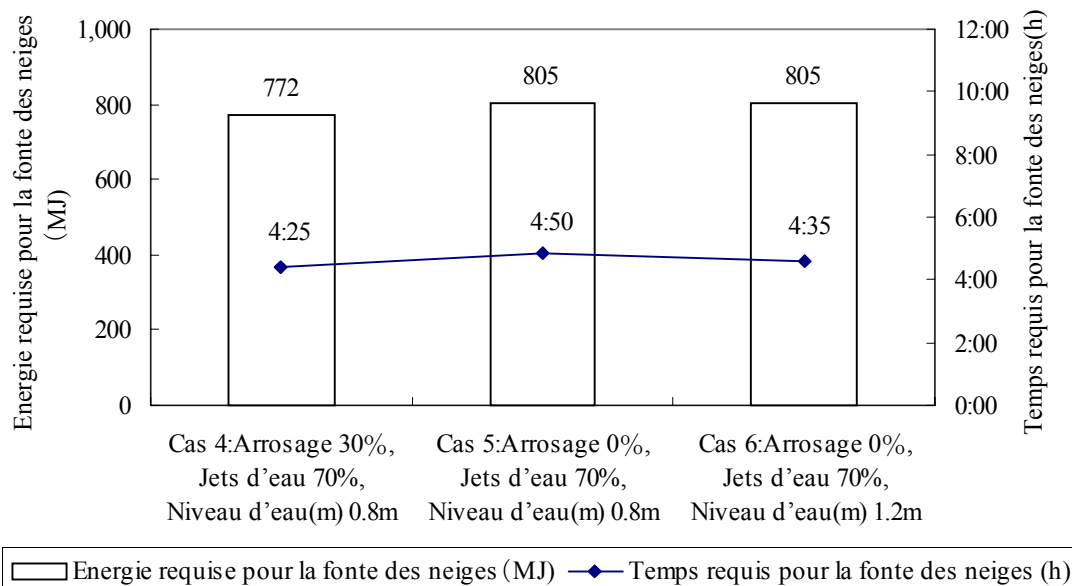


Figure 5. Comparaison des effets de l'arrosage et du niveau d'eau

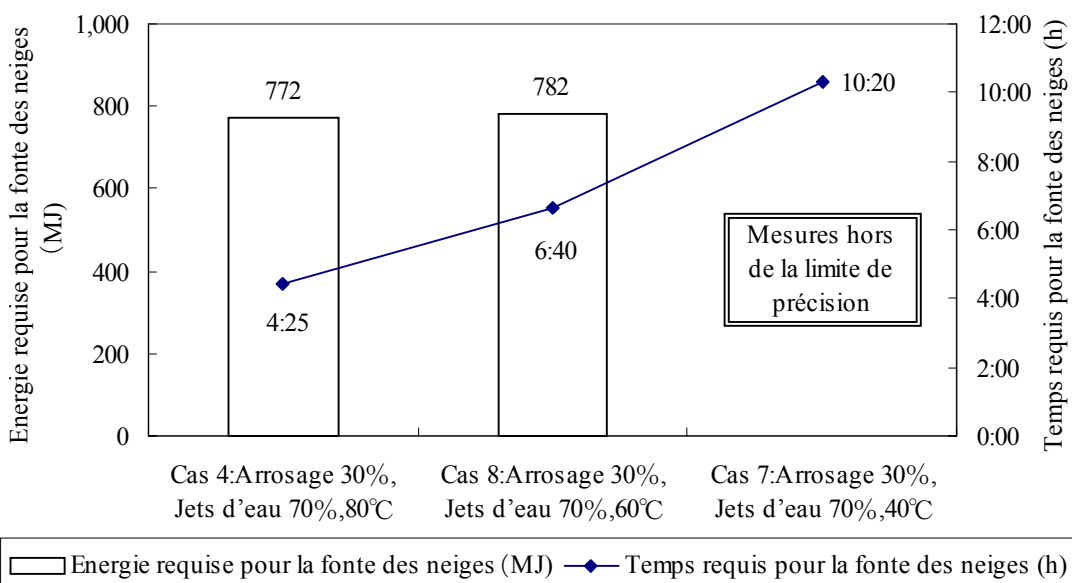


Figure 6. Comparaison des effets de la différence de température de la source de chaleur

(5) Effets de la température de l'eau pour l'arrosage du Type C

Les effets de la température de l'eau pour l'arrosage des neiges du Type C ont été examinés (Figure 7). Il s'est avéré que plus la température de l'eau pour l'arrosage des neiges est élevée, plus l'arrosage est efficace. Cependant, le Type C offrant en général un rendement moins bon que le Type B, il est moins indiqué que ce dernier.

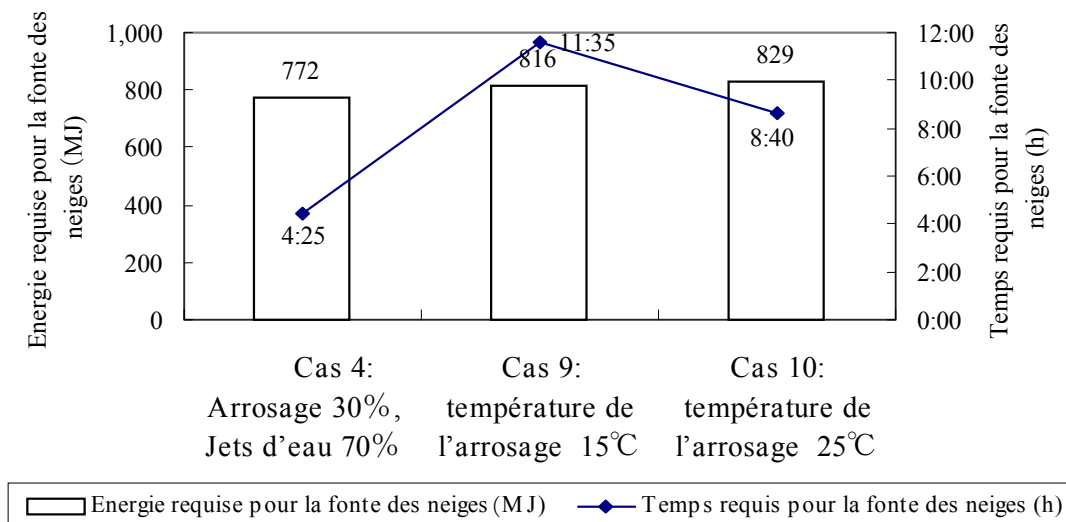


Figure 7. Effets de la température d'eau de l'arrosage

(6) Rendement énergétique

La consommation horaire d'énergie et le rendement énergétique sont montés à la **Figure 8**. Elle représente des valeurs obtenues en divisant l'énergie consommée par les temps nécessaires pour fondre les neiges. En favorisant la convection thermique dans le bac à fondre les neiges en plus du chauffage de ce dernier, un plus grand dégagement de chaleur a été obtenu, ce qui a permis de raccourcir le temps de la fonte des neiges. Cependant l'augmentation de la force motrice nécessitée à cet effet doit entraîner l'augmentation de la consommation d'énergie en conséquence. La puissance des échangeurs de chaleur du système étant de 251,2 MJ, l'énergie en provenance de la source de chaleur, pour fondre la neige, n'est utilisée qu'à un taux de 70% tout au plus. Il va falloir apporter au système des améliorations techniques.

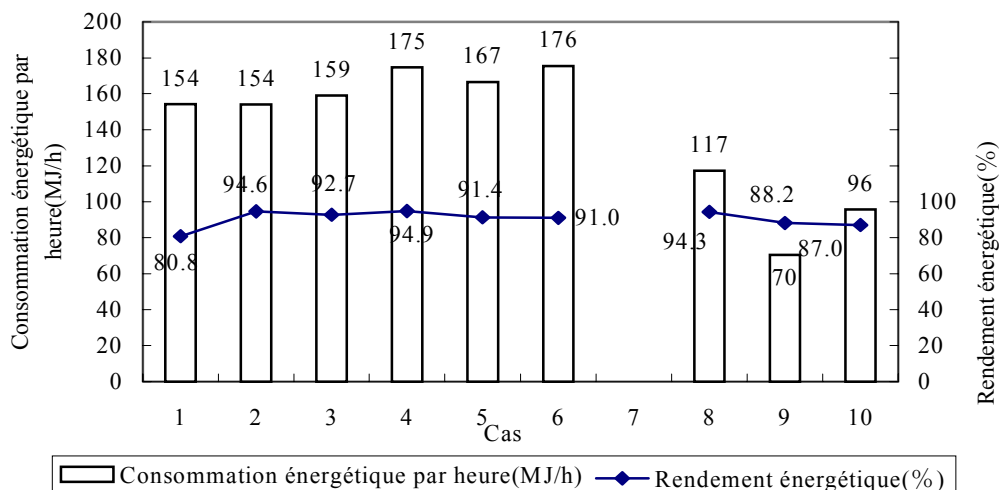


Figure 8. Comparaison des énergies consommées

(7) Poids des neiges pouvant être traitées en 24 heures

Le poids des neiges pouvant être éliminées en 24 heures a été calculé par le temps et

l'énergie nécessités pour fondre les neiges (**Figure 9**). Dans le cas 4 dont le rendement est le meilleur, 11,5 t de neiges pouvaient être éliminées par jour, ce qui correspond au volume des neiges nouvellement amoncées d'une hauteur 50 cm sur la superficie à débiter de 8 lotissements pavillonnaires (280 m²). Cependant, quand il s'agit d'exploiter ce système de décembre à mars, comme il doit consommer environ un dixième à un cinquième des énergies prévues pour la fonte de neiges, il faudra envisager des améliorations à apporter.

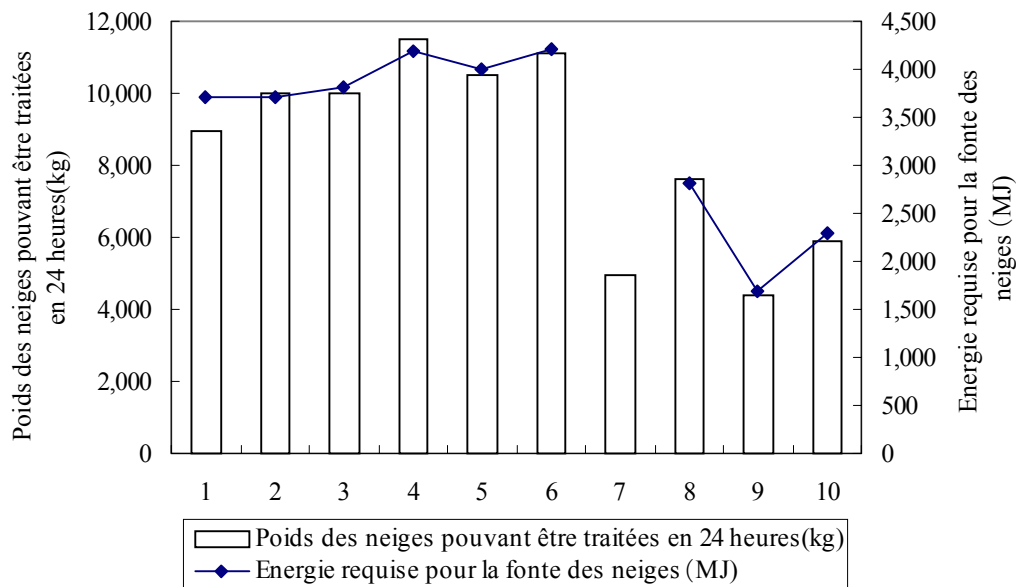


Figure 9. Poids des neiges pouvant être éliminées en 24 h et énergie requise pour la fonte des neiges

5. Conclusions

1. Le rendement du bac à fondre les neiges, bien calorifugé, ne peut être affecté que difficilement par la température extérieure. Avec le procédé de fonte des neiges Type B, le bac est chauffé de l'intérieur, et arrosé par le haut, en même temps que des jets d'eau internes. Ce type s'est montré le plus efficace, car l'arrosage des neiges dans le bac fondait directement les neiges brasées par les jets d'eau. En particulier, au cas 4, le rendement du bac à fondre les neiges atteignait 94,9%. Quant au bac Type C, équipé d'un système d'arrosage avec de l'eau chaude, dont le rendement dépend de la température de l'eau, force fut de constater qu'il était moins efficace, car dépourvu du brassage par des jets d'eau.
2. Dans le bac Type B, l'énergie et le temps requis pour fondre les neiges ont été mesurés, en variant le rapport des débits entre l'arrosage et les jets d'eau. Il ressort de ces mesures que pour la fonte des neiges, les jets d'eau sont plus efficaces que l'arrosage.
3. L'utilisation en cascade de la chaleur est une méthode d'utilisation rationnelle de l'énergie, cependant, en pratique, elle exige de certaines précautions, car plus la température de la source de chaleur est basse, plus la fonte des neiges est lente.
4. En variant la température de l'eau pour l'arrosage des neiges du bac Type C, il s'est avéré que plus la température est élevée, moins le temps de la fonte des neiges est long. Toujours est-il que le Type C est moins avantageux que le Type B.
5. Actuellement tout au plus, 70% seulement des énergies fournies par les sources de chaleur peuvent être utilisés effectivement pour la fonte des neiges. Comme le maintien de l'eau à une température déterminée consomme également de l'énergie, cette méthode laisse à désirer, au point de vue technique.
6. L'usage en commun d'un bac à fondre les neiges fonctionnant avec des énergies récupérées devra permettre la fonte des neiges sans augmenter la charge sur l'environnement pour autant.