

DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE TYPE DE CHAUFFAGE PAR PANNEAU A EAU CHAUDE POUR LE DENEIGEMENT DES TROTTOIRS

Takeshi Miyama*, Shigeaki Aoyagi*, Tsukuru Keino*, Eiji Takata** and Yuusi Satou***

- | | |
|---|--|
| * Station d'Aménagement du milieu naturel et division des Travaux hydriques
Nippon Steel Corporation | Otemachi 2-6-3, Chiyoda-ku, Tokyo, JAPON
Tél +81-3-3275-6208/Fax +81-3-3275-6781
E-mail: miyama.takeshi@eng.nsc.co.jp |
| ** Section de raccords de tuyauterie
Département d'équipement de tuyauterie
Hitachi Metals, Ltd. | Sibaura 1-2-1, Minato-ku, Tokyo, JAPON
Tél +81-3-5765-4299/Fax +81-3-5765-8313
E-mail: Eiji_Takata@po.hitachi-metals.co.jp |
| *** Département de Développement technique
Maeta Concrete Industry, Ltd. | Kamihoncho 6-7, Sakata-shi, Yamagata, JAPON
Tél +81-234-23-5115/Fax +81-234-24-7250
E-mail: s044-m@maeta.co.jp |

1. Résumé

Traditionnellement, dans les régions froides recouvertes de neige en hiver, il a toujours été difficile d'assurer aux piétons la sécurité des trottoirs, du fait des tas de neige, provenant du dégagement des routes et des toits des maisons privées, s'amoncelant au bord des routes. Les systèmes de déneigement pour trottoirs actuellement utilisés sont similaires aux systèmes utilisés pour déneiger les routes, à savoir l'arrosage d'eau, le chauffage électrique et les générateurs d'eau chaude. Ces systèmes classiques posent des problèmes avec leur bas niveau de service résultant en flaques formées sur les trottoirs, leur un coût d'exploitation élevé et la difficulté à assurer un espace pour leur installation dans les zones urbaines.

Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et des Transports et les gouvernements locaux veillent donc maintenant à mettre en place des systèmes de déneigement afin de garantir des trottoirs dans les centres ville, autour des institutions publiques, etc., au terme de la « Loi sur les Transports à Accès direct » (promulguée en mai 2000). En outre, tout en faisant en sorte de réduire le coût total des systèmes de déblaiement de neige, ces entités cherchent activement à développer des systèmes de déneigement qui utiliseraient efficacement des sources d'énergie et des énergies naturelles non encore employées. Pour répondre à ces nécessités, les auteurs, à partir de panneaux d'acier à eau chaude qui ont fait leurs preuves dès 1992 pour les voies ferrées, ont commencé à développer, pour les trottoirs, un système de déneigement par panneaux à eau chaude qui exploiterait de l'énergie inutilisée, sous forme d'une source de chaleur à basse température telle que la chaleur des eaux usées et la déperdition thermique des villes.

Pour appliquer les panneaux à eau chaude aux trottoirs, il a fallu satisfaire à deux exigences: (1) les panneaux devaient supporter le poids des trottoirs et (2) pour des raisons de sécurité évidentes, la surface de ces panneaux devait être antidérapante. A ce titre, une étude structurelle a été effectuée, portant sur quatre types de panneaux : (1) un panneau à revêtement en polyuréthane, (2) un panneau recouvert de béton, (3) un panneau avec pavés à emboîtement et (4) un panneau carrelé. Ces prototypes ont été utilisés lors d'essais de déneigement sur place, dans des régions froides, recouvertes de neige en hiver. Les résultats suivants ont été obtenus :

- 1) Tous les panneaux émettaient moins de chaleur que les panneaux d'acier à eau chaude classiques, mais la chaleur rayonnée était d'un niveau qui permettait leur application aux trottoirs.
- 2) Tous les panneaux ont fait fondre la neige avec plus d'efficacité que les systèmes à générateur d'eau chaude classiques.

- 3) Les panneaux à eau chaude des trottoirs pouvaient faire fondre le neige à une température d'eau d'alimentation avoisinant les 10 °C, autorisant ainsi le recyclage de la chaleur des eaux perdues et de la déperdition thermique des villes, sources d'énergie inutilisées jusqu'à ce jour.

2. Introduction

Le Ministère du Territoire et des Transports et les gouvernements locaux développent actuellement des systèmes de déneigement afin d'assurer la circulation sur les trottoirs dans les centres ville, autour des institutions publiques, etc., dans le cadre de la « Loi sur les Transports à Accès direct » (promulguée en mai 2000). En outre, tout en faisant en sorte de réduire le coût total de ces systèmes de déblaiement de neige, ces entités travaillent activement à développer des systèmes de déneigement qui recycleraient efficacement des sources d'énergie et des énergies naturelles actuellement inemployées.

Pour répondre à ces impératifs, les auteurs, à partir des panneaux d'acier à eau chaude ¹⁾ (dénommés ci-après «Panneaux à eau chaude») employés en 1992 avec succès pour les voies ferrées, ont commencé à développer un système de déneigement par panneau à eau chaude pour les trottoirs à partir d'énergie inutilisée sous forme de source de chaleur à basse température telle que la chaleur des eaux usées et la déperdition thermique des villes. Ce document présente un rapport sur l'étude structurelle de panneaux à eau chaude utilisés pour faire fondre la neige, sur la fabrication de plusieurs sortes de prototypes et sur les résultats des essais de déneigement effectués dans une région froide, recouverte de neige en hiver, afin d'évaluer la performance de ces prototypes.

3. Spécifications

3.1 Configuration

Cette section couvre les caractéristiques des panneaux à eau chaude. La Figure 3-1 indique la structure d'un panneau.

- (1) Le panneau se compose d'acier en feuille et dispose d'une série de canaux trapézoïdaux dans sa coupe transversale.
- (2) Le panneau se compose d'acier en feuille et dispose d'une série de canaux trapézoïdaux dans sa coupe transversale.
- (3) Comme les panneaux sont dotés d'une configuration unitaire avec les tuyauteries qui y sont intégrées, l'installation sur place s'est avérée facile.
- (4) Le coefficient de conductivité thermique était élevé, et même avec une source de chaleur à basse température (3 à 5 °C), les panneaux avaient la capacité de faire fondre de manière adéquate la neige qui tombait.

Pour pouvoir mettre en application les panneaux à eau chaude dans le cadre des trottoirs, il a été nécessaire de résoudre les problèmes suivants :

- (1) Les panneaux à eau chaude devaient avoir une capacité de charge de 3 kN/m² pour leur permettre de supporter le poids de la neige déblayée en d'autres endroits et entassée sur les panneaux et parce que la route, sur laquelle les panneaux étaient placés, servirait de route d'inspection. Cependant, pour supporter le poids des personnes circulant sur les trottoirs, leur capacité de charge a été portée à 5 kN/m² ²⁾.

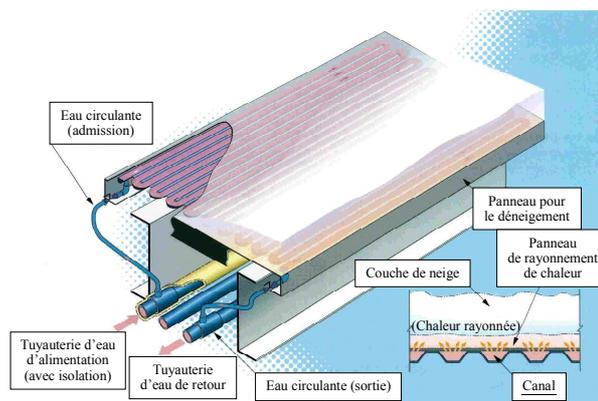


Figure 3-1 Panneau D'acier à eau Chaude

(2) Pour assurer la sécurité des piétons, la surface des panneaux devait bénéficier d'une variété de mesures antidérapantes, endommageant de ce fait la conduction thermique élevée, qui est leur principale caractéristique.

3.2 Etude Structurale

(1) Capacité de Charge

Des calculs théoriques de résistance ont été effectués pour déterminer si les panneaux à eau chaude classiques pouvaient supporter le poids des personnes circulant dessus (5 kN/m^2).

Dans le modèle d'étude (une plaque fixée sur les quatre côtés) indiqué dans la Figure 3-2, les valeurs de la déflexion, du moment et la contrainte du panneau à eau chaude quand il est soumis à une charge uniforme P ont été calculées comme suit. ³⁾

- Déflexion maximum : $W_{\max} = 0.00254PA^4/D^3$
- Moment au point C1 : $(M_y)_{C1} = -0.0829PA^2$
- Moment au point C2 : $(M_x)_{C2} = -0.0571PA^2$
- Moment au centre de la plaque : $(M_y)_O = 0.0412PA^2$
 $(M_x)_O = 0.0158PA^2$
- Effort de flexion maximum : $\sigma_{\max} = (6/h^2)M_{\max}$
- D' : Rigidité à la flexion $1,140,750 \text{ (N}\cdot\text{mm)}$
- h : Epaisseur du panneau à eau chaude 3.9 (mm)

Les résultats obtenus à partir des calculs effectués avec ces formules figurent dans le tableau 3-1. D'après ces résultats, les panneaux à eau chaude ont la capacité de supporter la charge des piétons (5 kN/m^2).

(2) Traitement Antidérapant

Deux matériaux ont été étudiés pour assurer la fonction antidérapante des panneaux: 1) les revêtements et 2) les matériaux de construction des trottoirs.

1) Revêtements

Les revêtements en polyuréthane utilisés pour les terrains de sport en plein-air, le sol des usines et autres usages similaires ont été retenus comme matériaux de revêtement. Des essais de résistance à la flexion et aux intempéries, de confort de marche et autres essais fondamentaux ont été réalisés sur ces matériaux.

A partir des résultats de ces essais, le revêtement en polyuréthane s'est révélé applicable aux panneaux à eau chaude destinés aux trottoirs.

Deux types d'épaisseur de revêtement en polyuréthane ont été appliquées sur les panneaux à eau chaude, un revêtement mince ($0,3 \text{ mm}$ d'épaisseur) et un revêtement épais (3 mm d'épaisseur) et les modifications subies par ces panneaux ont été observées sur une période d'un an. Comme le panneau à revêtement mince ($0,3 \text{ mm}$) s'est considérablement écaillé (voir Figure 3-3, c'est le panneau à revêtement épais qui a été retenu.

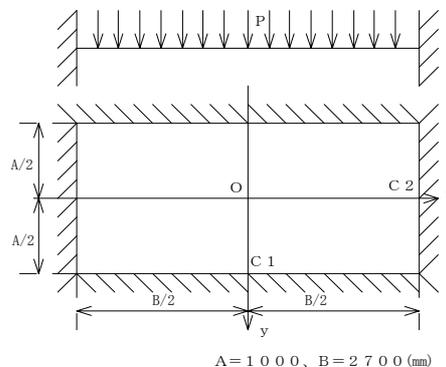


Figure 3-2 Modèle D'étude

Tableau 3-1 Résultats des Calculs Théoriques de Résistance

Charge uniforme P (kN/m ²)	1	2	3	4	5
Déflexion maximum W _{max} (mm)	2.2	4.4	6.6	8.8	11.0
Moment de flexion maximum M _{max} (N·m/m)	83	166	249	332	415
Effort de flexion maximum σ _{max} (N/mm ²)	33	66	99	132	165
Résistance à la rupture des panneaux σ _s	280 N/mm ²				

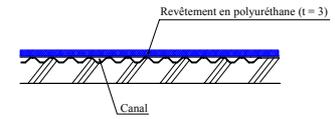


Figure 3-3 Ecaillage du polyuréthane (couche mince)

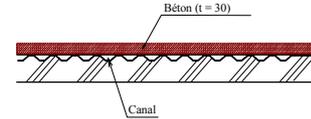
2) Matériaux de Construction des Trottoirs

Comme matériaux de construction des trottoirs, le béton, les pavés à emboîtement et les carrelages qui sont des matériaux communs, ont été sélectionnés.

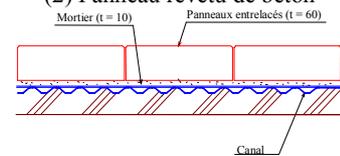
En conséquence, quatre différents prototypes ont été sélectionnés: (1) un panneau en polyuréthane, (2) un panneau revêtu de béton, (3) un panneau à pavés à emboîtement et (4) un panneau carrelé. Chaque panneau mesurait 920 mm (largeur) x 2,750 mm (longueur). La Figure 3-4 illustre les coupes transversales de ces panneaux. Une bande en braille (en caoutchouc artificiel souple/t (épaisseur) = 2 mm) destinées aux personnes handicapées visuellement a été apposée sur la surface des panneaux à couche de polyuréthane.



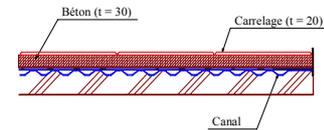
(1) Panneau en polyuréthane



(2) Panneau revêtu de béton



(3) Panneau à pavés à emboîtement



(4) Panneau carrelé

Figure 3-4 Sections Transversales des Panneaux à eau Chaude pour Trottoirs

4. Essais de Dénéigement

4.1 Généralités

Les essais de déneigement ont été effectués à Amarume-cho dans le département de Yamagata, une région froide qui est recouverte de neige en hiver, au cours de l'hiver 1999 (de janvier à mars 2000) et de l'hiver 2000 (de février à mars 2001). Le diagramme de l'équipement des essais est schématisé à la Figure 4-1.

4.2 Procédure

(1) Essais

Les trois essais suivants ont été effectués:

- 1) Essais pendant les chutes de neige: Essais portant sur la manière dont le panneau à eau chaude fait fondre la neige qui tombe naturellement sur la surface du panneau.
- 2) Essais sur couche de neige naturelle: La neige s'étant déposée naturellement sur la surface du panneau à eau chaude, des essais ont été effectués sur la manière dont le panneau la faisait fondre.
- 3) Essais sur couche de neige artificielle: La neige a été amoncelée manuellement sur la surface du panneau à eau chaude, puis un test sur la manière dont le panneau a fait fondre la neige a été effectué.

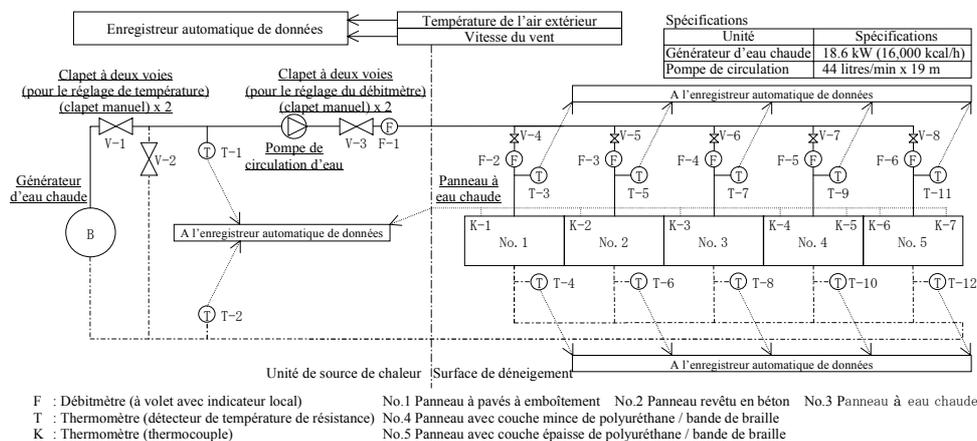


Figure 4-1 Diagramme de L'équipement des Essais

(2) Conditions D'essais

Les conditions d'essais pour chacun des trois essais (essais pendant les chutes de neige, essais sur couche de neige naturelle et essais sur couche de neige artificielle) figurent respectivement dans les Tableaux 4-1 à 4-3.

4.3 Résultats des Essais

(1) Essais pour les Chutes de Neige

La figure 4-2 fait état des résultats des essais pendant les chutes de neige

- 1) A une température d'entrée de 10 °C et plus, les panneaux à eau chaude des trottoirs ont prouvé une bonne performance de déneigement, quelque soit le débit.
- 2) A une température d'entrée de 5 °C, un débit d'eau chaude de 2.2 litres par minute et par panneau et une température extérieure de l'air de -5 °C, une couche de neige a été détectée sur la surface du panneau revêtu de béton et du panneau à pavés à emboîtement, ainsi que sur la bande de braille du panneau en polyuréthane.
- 3) A une température d'entrée de 5 °C, un débit d'eau chaude de 4.4 litres par minute et par panneau, la différence entre la température d'entrée et la température de sortie était seulement d'1 °C pour chacun des panneaux.

Tableau 4-1 Conditions D'essais pour le Déneigement

N°	1	2	3	4	5	6
Température d'eau d'alimentation (°C)	5	10	15	5	10	15
Débit d'eau chaude dans les panneaux (liters/min-panneau)	2.2		4.4			



Essai de Déneigement

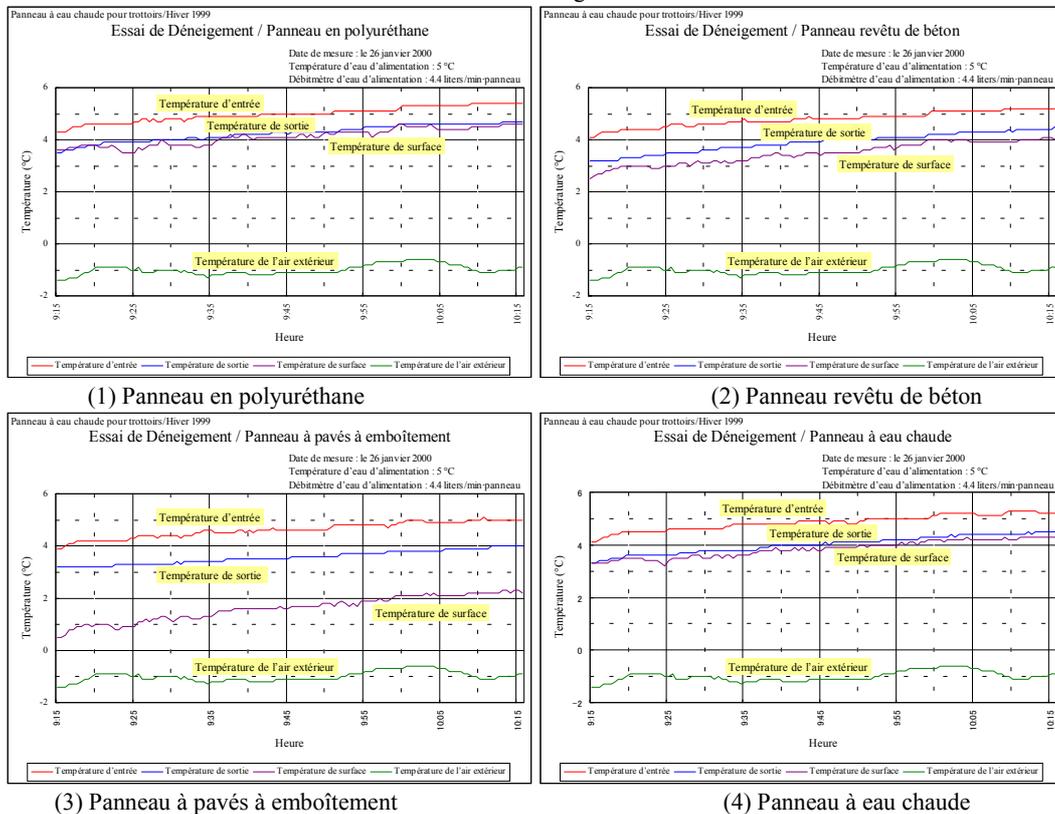


Figure 4-2 Résultats des Essais de Déneigement (dans les conditions d'essais n°4)

(2) Essai de Dénéigement pour la Neige Naturelle

La figure 4-3 fait état des résultats des essais de déneigement pour la neige naturelle

- 1) Les performances de déneigement ont été obtenues, de la meilleure à la moins bonne, par le panneau à eau chaude, le panneau en polyuréthane, le panneau carrelé et le panneau à pavés à emboîtement.
- 2) La neige a fondu plus rapidement sur toute la surface du panneau en polyuréthane à l'exception de celle déposée sur la bande de braille. Le déneigement de la surface de la bande de braille a demandé un peu plus de temps.
- 3) A une température d'entrée de 10 °C et un débit d'eau chaude de 2.2 litres par minute et par panneau, la couche de neige n'a été détectée que sur la surface du panneau à pavés à emboîtement. Tous les autres panneaux ont démontré une bonne performance de déneigement.
- 4) Le classement des panneaux dans l'ordre de la plus grande différence entre les température d'entrée et de sortie, est le suivant: panneau à eau chaude, panneau en polyuréthane, panneau revêtu de béton, panneau carrelé et panneau à pavés à emboîtement.

Tableau 4-2 Conditions pour L'essai de Dénéigement pour la Neige Naturelle

N°	1	2	3	4	5
Température d'eau d'alimentation (°C)	10	20	10	20	20
Débit d'eau chaude dans les panneaux (liters/min-panneau)	2.2	4.4	4.4	7.3	7.3



Essai de Dénéigement pour la Neige Naturelle

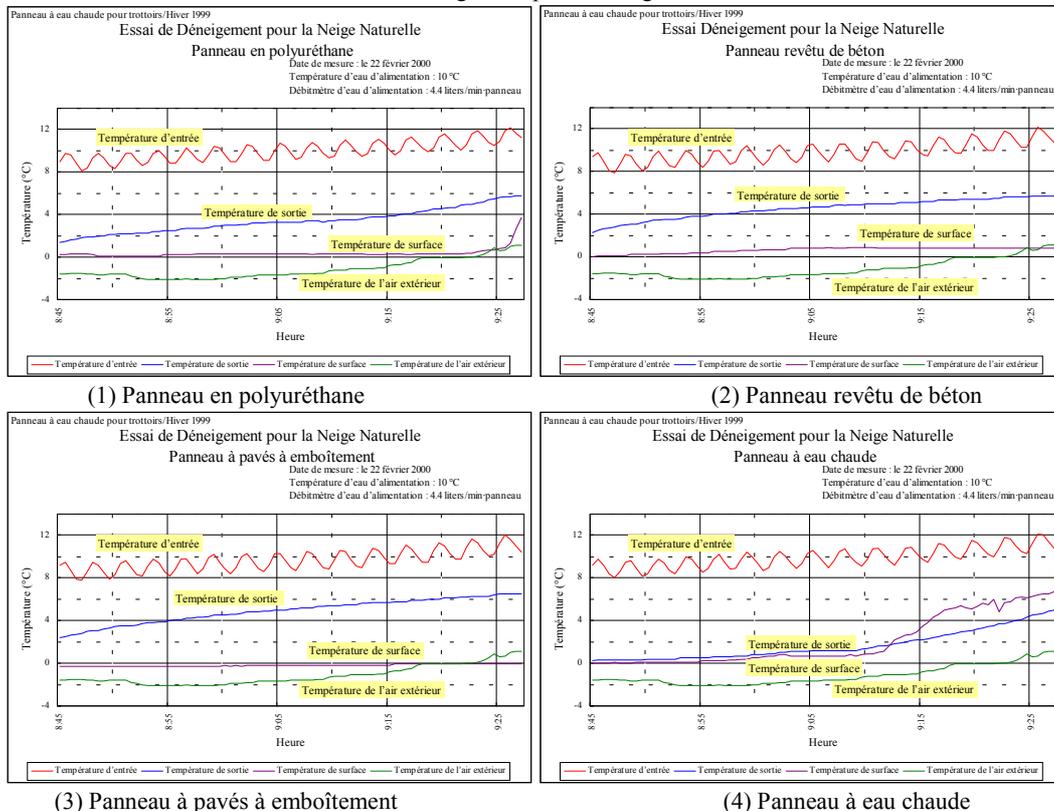


Figure 4-3 Résultat des Essais de Dénéigement pour la Neige Naturelle (dans les conditions d'essais n°3)

(3) Essais de Dénégement pour la Neige Artificielle

La figure 4-4 présente les résultats des essais pour la neige artificielle.

- 1) Le classement des panneaux dans l'ordre de la plus grande différence entre les température d'entrée et de sortie, est le suivant : panneau à eau chaude, panneau revêtu de béton, panneau en polyuréthane et panneau à pavés à emboîtement.
- 2) La formation de ponts de neige sur le panneau en polyuréthane et le panneau à pavés à emboîtement a été déterminée par vérification visuelle et dans certains cas, ils ont entravé le déneigement.
- 3) A une température d'entrée de 20 °C et un débit d'eau chaude de 4.4 litres par minute et par panneau, la différence entre la température d'entrée et la température de sortie a été de 3 °C environ pour tous les panneaux.
- 4) La différence entre les température d'entrée et de sortie a été pratiquement constante pour tous les panneaux jusqu'à ce que le déneigement soit terminé.

Tableau 4-3 Conditions pour L'essai de Dénégement pour la Neige Artificielle

N°	1	2	3	4	5	6
Température d'eau d'alimentation (°C)	10	20	30	10	20	30
Débit d'eau chaude dans les panneaux (liters/min-panneau)	2.2		4.4			



Essai de Dénégement pour la Neige Artificielle

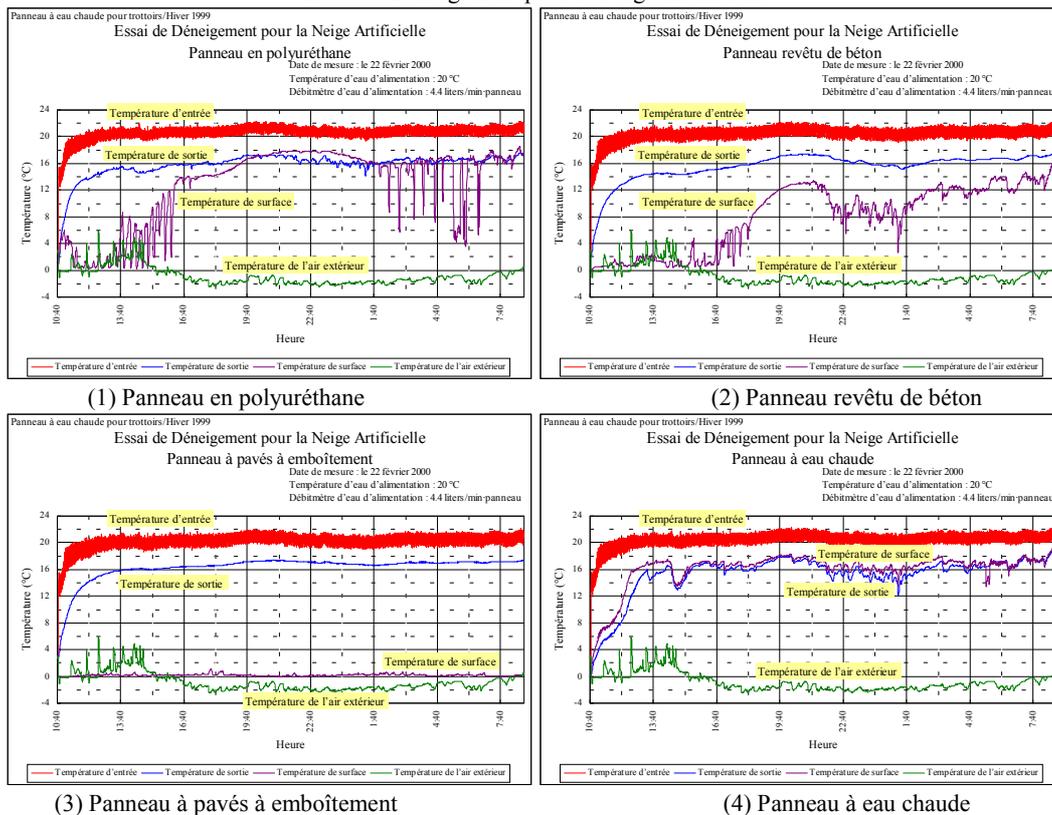


Figure 4-4 Résultats D'essais de Dénégement pour la Neige Artificielle (dans les conditions d'essais n°5)

5. Synthèse

L'estimation de leur performance basée sur la droite de régression des deux variables, la chaleur rayonnante et la température d'entrée relevées au cours des essais, a confirmé que les panneaux à eau chaude ne pose pas de problèmes sur un plan pratique. La même méthode est de ce fait adoptée pour l'estimation de la performance des panneaux à eau chaude à usage sur trottoirs.

5.1 Essais Pour Les Chutes De Neige

(1) Méthode par Générateur D'Eau Chaude

Lors de l'évaluation de la performance des panneaux à eau chaude destinés aux trottoirs, nous avons étudié, à titre de comparaison, la performance du générateur d'eau chaude, moyen de déneigement conventionnel typique, dans le cadre des calculs expérimentaux^{4) 5)}. Les données des conditions d'essais concernaient la ville de Sakata, département de Yamagata, qui est la zone avoisinant l'emplacement des essais (Amarume-cho, département de Yamagata).

- 1) Conditions météorologiques pour les calculs expérimentaux
 - a) Température : $-1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b) Epaisseur de la chute de neige au moment des calculs : 2.3 cm/h
 - c) Vitesse du vent : 2.0 m/sec
 - d) Température de la neige : $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - e) Densité de la neige : 0.07 g/cm^3
- 2) Résultats des calculs expérimentaux
 - a) Quantité de chaleur nécessaire : 170 W/m^2
 - 2) Température d'eau d'alimentation : $17\text{ }^{\circ}\text{C}$

(2) Essais de Déneigement

La Figure 5-1 montre les lignes de régression pour la quantité de chaleur rayonnée, représentant les performances de rayonnement de chaleur de chacun des panneaux à eau chaude dans les essais pour le déneigement et la quantité de chaleur nécessaire dans le système de générateur d'eau chaude. A partir de cette figure, les éléments suivants apparaissent:

- 1) Classés par degré auquel la performance de rayonnement de chaleur est plus importante que la ligne de régression, les panneaux sont : le panneau à eau chaude, le panneau en polyuréthane, le panneau revêtu de béton et le panneau à pavés à emboîtement.
- 2) Il n'y avait qu'une faible différence entre le panneau en polyuréthane et le panneau revêtu de béton. Cela tient sans doute au fait que, même si l'état de déneigement confirme une meilleure performance du panneau en polyuréthane seul, la rapidité de déneigement sur la bande en braille s'est avérée plus lente, réduisant ainsi l'ensemble de la performance de rayonnement de chaleur du panneau.
- 3) Dans les mêmes conditions que le système de générateur d'eau chaude, tous les panneaux à eau chaude ont émis des niveaux supérieurs de chaleur rayonnée.
- 4) Où le système de générateur d'eau chaude demande une température d'eau d'alimentation de $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, les panneaux à eau chaude ont démontré un bon déneigement avec une température d'eau d'alimentation à $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

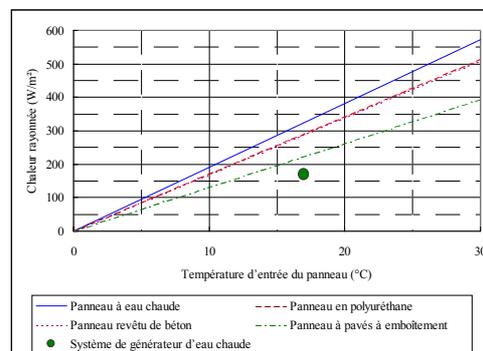


Figure 5-1 Quantité de Chaleur Rayonnée dans les Essais de Déneigement

5.2 Essais de Déneigement pour la Neige Naturelle

La Figure 5-2 indique la quantité de chaleur rayonnée par chacun des panneaux à eau chaude dans les essais de déneigement de neige naturelle après l'analyse de régression. A partir de la Figure 5-2, les points suivants apparaissent:

- 1) Classés selon le degré auquel la performance de rayonnement de chaleur est plus importante que la ligne de régression, les panneaux sont: le panneau à eau chaude, le panneau en polyuréthane, le panneau revêtu de béton, le panneau carrelé et le panneau à pavés à emboîtement.
- 2) Il n'y avait qu'une faible différence entre le panneau en polyuréthane et le panneau revêtu de béton. Cependant, comme il est noté dans 5.1, la performance de rayonnement de chaleur essentielle du panneau en polyuréthane peut être considérée comme supérieure aux résultats des essais.
- 3) A une température d'eau d'alimentation de 10 °C, à laquelle tous les panneaux à eau chaude ont démontré un bon déneigement, le panneau à pavés à emboîtement a fait preuve de la performance de rayonnement de chaleur la plus faible (290 W/m²). Une température d'eau d'alimentation de 28 °C serait nécessaire pour produire la même quantité de rayonnement de chaleur comme avec le système de générateur d'eau chaude.

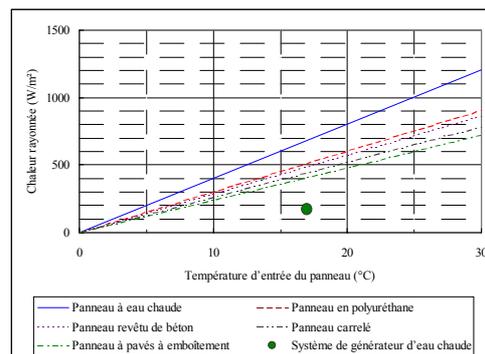


Figure 5-2 Quantité de Chaleur Rayonnée dans les Essais de Déneigement de Neige Naturelle

5.3 Essai de Déneigement pour la Neige Artificielle

La Figure 5-3 indique la quantité de chaleur rayonnée par chacun des panneaux à eau chaude dans l'essai de déneigement de la neige artificielle après l'analyse de régression. A partir de la Figure 5-3, les éléments suivants apparaissent:

- 1) Classés par l'ordre d'importance de performance de rayonnement de chaleur par rapport à la ligne de régression, les panneaux sont: le panneau à eau chaude, le panneau en polyuréthane, le panneau revêtu de béton et le panneau à pavés à emboîtement.
- 2) Il n'y avait qu'une faible différence entre le panneau en polyuréthane, le panneau revêtu de béton et le panneau à pavés à emboîtement. Cependant, comme il est noté dans 5.1, la performance de rayonnement de chaleur essentielle du panneau en polyuréthane peut être considérée comme supérieure aux résultats des essais.
- 3) A une température d'eau d'alimentation de 10 °C, à laquelle tous les panneaux à eau chaude ont démontré un bon déneigement, le panneau à pavés à emboîtement a fait preuve de la performance de rayonnement de chaleur la plus faible (210 W/m²). Une température d'eau d'alimentation de 20 °C serait nécessaire pour produire la même quantité de rayonnement de chaleur, comme avec le système de générateur d'eau chaude.

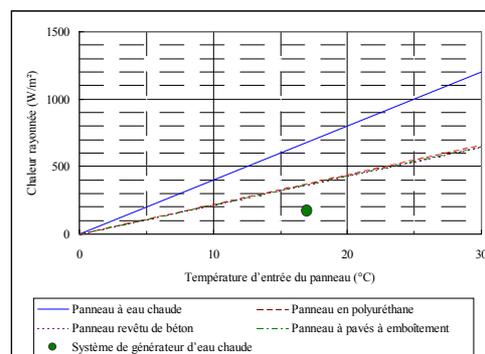


Figure 5-3 Quantité de Chaleur Rayonnée dans les Essais de Déneigement pour la Neige Artificielle

A partir des éléments précédents, il se confirme que les quatre types de panneaux à eau chaude pour trottoirs, pour lesquels les essais de déneigement sur place ont été instaurés, ont démontré une plus grande performance de rayonnement de chaleur qu'avec le système de générateur d'eau chaude et qu'ils pouvaient faire preuve d'une performance de déneigement suffisante, même à une température d'eau d'alimentation de 10 °C.

6. Conclusion

Les résultats découlant des essais de déneigement effectués pour les panneaux à eau chaude pour trottoirs dans Amarume-cho, département de Yamagata, pendant l'hiver des exercices fiscaux 1999 et 2000 peuvent se résumer comme suit :

- (1) Les quatre prototypes de panneaux à eau chaude pour les trottoirs (panneau à pavés à emboîtement, panneau revêtu de béton, panneau en polyuréthane et panneau carrelé) ont la résistance nécessaire pour être utilisés comme trottoirs.
- (2) Dans l'essai de déneigement, en ce qui concerne l'essai de déneigement pour la neige naturelle et l'essai de déneigement pour la neige artificielle, chacun des panneaux à eau chaude pour trottoirs a démontré une bonne performance de déneigement.
- (3) A partir de la formule de régression pour la quantité de chaleur rayonnée par les quatre prototypes de panneaux à eau chaude pour trottoirs (panneau à pavés à emboîtement, panneau recouvert de béton, panneau en polyuréthane et panneau carrelé), la quantité de chaleur rayonnée par les panneaux a été confirmée supérieure à celle du système de générateur d'eau chaude.
- (4) Comme la neige peut être fondue à une température d'eau d'alimentation avoisinant les 10 °C, il a été confirmé que des énergies non utilisées (déperdition de chaleur des métros, déperdition de chaleur des eaux usées, eaux souterraines, etc.), dont le niveau de température est supérieur à 10 °C, peuvent être utilisées comme source d'énergie.

Références

- [1] Honda Akira: «Efforts par la Société de constructions publiques des chemins de fer japonais pour circonvier aux dommages engendrés par la neige» (JREA, 1999, Vol. 42, pp. 12 – 16)
- [2] Association routière du Japon: «Spécifications pour les ponts des autoroutes et Commentaires d'accompagnement I Divisions communes et IV Sous-structures» (Maruzen, Décembre 1996, pp. 9-71)
- [3] Société d'ingénierie civile du Japon: «Formules de mécanique structurelle» (Juin 1986, p. 341)
- [4] Ministère de la Construction, Bureau de construction régionale de Hokuriku, département des routes: «Design Procedures for Road and Snow Removal and Melting Facilities, etc.» (Mars 2000, pp. 139 – 145)
- [5] Institut d'Architecture du Japon: «données météorologiques développées AMEDASU» (janvier 2000)