

# UNE MÉTHODE D'ANALYSE BASÉE SUR LA VALEUR DES TERRAINS DES COÛTS ET BÉNÉFICES DES OPÉRATIONS DE DÉNEIGEMENT DANS LES ZONES URBANISÉES DU JAPON

Seiji KAMIMURA\* et Kazuyuki MOROHASHI\*\*

\* Université de technologie de Nagaoka

1603-1 Kamitomioka, Nagaoka,

Tel: +81-258-47-9717

Fax: +81-258-47-9770

Adresse électronique courriel : kami@mech.nagaokaut.ac.jp

\*\* Institut du Japon des Systèmes Recherche & Développement,

16-5 Tomihisa-cho, Shinjuku-ku, Tokyo

Tel: +81-3-5370-5914

Fax: +81-3-5370-5924

Adresse électronique courriel : morohashi@srdi.or.jp

## 1. Résumé

On a envisagé récemment l'adoption dans les régions du Japon connaissant un enneigement important de système de déneigement et de traitement de la neige à grande échelle tels que des réseaux de tranchées permettant l'écoulement de la neige et/ou de nouvelles techniques destinées à faire fondre la neige. Comparé aux systèmes de déneigement conventionnels (déneigement au moyen de chasse-neige, utilisation de tuyauterie et de têtes d'arrosage destinées à faire fondre la neige, transport par camion) utilisés jusqu'à présent, ces nouveaux systèmes nécessitent des coûts considérablement plus élevés. Aussi lorsque l'on prend une décision concernant les mesures à prendre pour le déneigement et le traitement de la neige, bien que l'analyse comparatives des coûts et des bénéfices constituent une méthode d'appréciation importante il n'existait pas jusqu'à présent de méthode d'estimation des bénéfices produits par les opérations de déneigement dans les zones urbanisées situées dans les régions du Japon ayant un enneigement important.

Nous proposons dans ce rapport d'étude une méthode d'analyse simple des coûts et bénéfices des opérations de déneigement menées dans les zones urbanisées du Japon basée sur le prix des terrains. La principale cause des dommages causés par la neige est l'occupation de l'espace par la couche de neige accumulée et/ou les tas de neige formés à la suite des opérations de déneigement. Si on pose comme hypothèse que les bénéfices produits par l'adoption d'un nouveau système de déneigement correspondent à la valeur de location des terrains sur lesquels on a adopté ledit système multiplié par la superficie déneigée par ledit système, on peut facilement calculer le rapport des coûts et bénéfices,  $B/C$ , à partir des données et rendues publiques comme les prix des terrains, la superficie qu'il est prévu de traiter et le coût du système.

Des études de cas concernant les systèmes conventionnels de déneigement existant (déneigement au moyen de chasse-neige, utilisation de tuyauterie et de têtes d'arrosage destinées à faire fondre la neige, réseau de tranchées permettant l'écoulement de la neige) dans les villes de Nagaoka et de Tokamachi situées dans la Préfecture de Niigata. Les rapports coûts/bénéfices de ces systèmes conventionnels sont supérieurs à 10 et sont grandement affectés par l'importance des chutes de neige

durant l'hiver ainsi que la valeur des terrains. La validité de ces résultats est confirmée par les résultats d'autres analyses des coûts et bénéfices concernant les opérations de déneigement au moyen d'engins comme des chasse-neige. Alors que le rapport coûts/bénéfices des réseaux de tranchées permettant l'écoulement de la neige installés à Tokamachi est approximativement d'un, on est parvenu à la conclusion que ce système était économiquement efficient.

## 2. Introduction

L'adoption depuis le début des années 60 de véhicules de déneigement et le développement des techniques destinées à faire fondre la neige au moyen de têtes d'arrosage a permis d'améliorer les activités économiques dans les régions du Japon connaissant un enneigement important ainsi que dans les régions où il ne neige pas. Vers le milieu des années 70, de nouvelles techniques d'élimination de la neige tels que des systèmes hydrauliques et pneumatiques de transport de la neige et des systèmes de chauffage de la chaussée ont été développées avec beaucoup d'énergie. Toutefois, celles-ci n'ont pas été encore pleinement exploitées à cause de leur coût relativement élevé.

Après le dernier hiver où il y a eu des chutes de neige particulièrement abondantes (hiver 1986), nous n'avons plus subi de telles chutes de neige pendant environ 15 ans. Durant la dernière décennie, les Japonais ont souhaité de plus en plus un niveau de garantie des activités urbaines plus élevé même durant la période hivernale et un environnement urbain plus confortable. Par conséquent, les coûts des opérations de déneigement augmentent rapidement à cause de l'expansion des surfaces déneigées et l'adoption de systèmes de déneigement à grande échelle.

Lorsqu'une collectivité locale prend une décision concernant la politique de déneigement à mettre en place, l'analyse des coûts et des bénéfices est très importante afin d'expliquer celle-ci aux habitants qui sont aussi des contribuables et pour bâtir un consensus concernant le niveau de service, les habitants étant les bénéficiaires des bénéfices. Mais une telle évaluation des bénéfices n'a pas été réalisée.

Umemura et coll. (1991) a défini et calculé la quantité de dégâts occasionnés par la neige dans une zone urbaine enregistrant des chutes de neige abondantes et ceci rend possible l'évaluation des bénéfices des systèmes de déneigement. Dans le cadre de la présente étude nous avons proposé une méthode d'évaluation et appliqué celle-ci aux systèmes de déneigement et de traitement de la neige les plus représentatifs : système destiné à faire fondre la neige au moyen de têtes d'arrosage, opérations de déneigement avec des véhicules chasse-neige, tranchées d'écoulement de la neige à petite échelle, réseaux de tranchées destinées à l'écoulement de la neige à grande échelle. Les coûts et bénéfices annuels de ces systèmes ont été calculés et leurs effets économiques sont évalués à partir des rapports coûts/bénéfices.

## 3. Méthode d'analyse des coûts et des bénéfices

Afin d'évaluer les effets économiques d'un système de déneigement à un endroit donné, on compare les dégâts causés par la neige et les coûts du déneigement avant et après l'adoption du système. On suppose que le coût du déneigement est  $C_1$  et que le montant des dégâts causés par la neige est  $D_1$  avant l'adoption du système, et de manière similaire  $C_2$  et  $D_2$  après l'adoption du système comme indiqué sur la Figure 1.  $C_2$  comprend le coût du système de déneigement,  $C$ , et  $\Delta C_1$  sur la Figure indique la réduction de  $C_1$  grâce à l'adoption du système de déneigement.

L'effet économique des tranchées peut être jugé en comparant  $C_1 + D_1$  et  $C_2 + D_2$ . A savoir, que l'on considère la tranchée d'écoulement de la neige comme effective du point de vue économique si

$$C_1 + D_1 > C_2 + D_2 \quad (1)$$

Puisque  $C_2$  égale  $C_1 - \Delta C_1 + C$  comme indiqué sur la Figure 1, la formule (1) est écrite sous la forme

$$(D_1 - D_2) + \Delta C_1 > C \quad (2)$$

On peut définir la partie gauche de la formule (2) comme le bénéfice de la tranchée d'écoulement de la neige,  $B$ , qui consiste dans le bénéfice  $B1 \equiv D_1 - D_2$  et le bénéfice  $B2 \equiv \Delta C_1$ . Tant  $B$  que  $C$  sont évalués en montants annuels et le degré de l'efficacité économique est exprimé par la rapport bénéfices/coûts  $B/C$ .

$$B/C \equiv (B1 + B2)/C > 1 \quad (3)$$

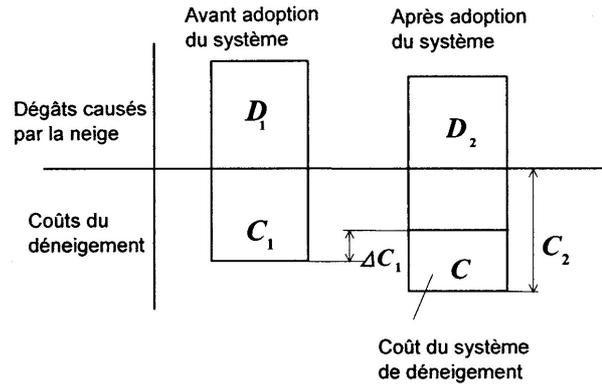


Figure 1. Effets économiques du système de déneigement

### 3.1 Evaluation des bénéfices

#### (1) Bénéfice B1 de réduction des dégâts causés par la neige

Au moyen de la méthode proposée par Umemura (1991) et modifiée par Kamimura et Umemura (1993), le montant annuel des dégâts causés par la neige,  $D$ , à un endroit donné est exprimé sous la forme suivante :

$$D = \bar{k}(rL + F)A \quad (4)$$

où

$\bar{k}$  = facteur de chute saisonnière annuelle dans l'utilisation

$r$  = taux d'intérêt annuel

$L$  = valeur du terrain pour une unité de superficie

$F$  = dépenses annuelles pour une unité de superficie pour les installations situées sur place, et

$A$  = superficie du site considéré ( $m^2$ )

$\bar{k}$  signifie  $\Sigma k/365$  lorsque  $k$  est le facteur de chute saisonnière quotidien dans l'utilisation et  $\Sigma k$  est la somme annuelle de  $k$ . Ici  $k = 0$  si l'endroit peut être complètement utilisé durant la saison enneigée comme durant les saisons où il ne neige pas, et  $k = 1$  si l'endroit ne peut pas être du tout utilisé à cause de la couche de neige accumulée durant la saison enneigée. Et la valeur de  $k$  se situe entre 0 et 1 si l'endroit peut être partiellement utilisé durant la saison enneigée. Par conséquent,  $\bar{k}$  est exprimé de la façon suivante :

$$\bar{k} = \frac{R \cdot N}{365} \quad (5)$$

où

$R$  = valeur moyenne de 'superficie couverte de neige / superficie de l'endroit donné' pour  $N$  jours, et

$N$  = nombre de jours où le site est couvert par de la neige comme indiqué par la station d'observations météo locale.

Comme les dégâts causés par la neige  $D_1$  et  $D_2$  sur la Figure 1 sont exprimés comme  $\bar{k}_1(rL + F)A$  et  $\bar{k}_2(rL + F)A$  à partir de l'équation (3), le bénéfice  $B1$  peut être exprimé sous la forme.

$$\begin{aligned}
B1 &= D_1 - D_2 = (\bar{k}_1 - \bar{k}_2)(rL + F)A \\
&= \frac{R_1 N_1 - R_2 N_2}{365}(rL + F)A
\end{aligned}
\tag{6}$$

## (2) Bénéfice de réduction des coûts B2

Le bénéfice  $B2$  est produit principalement par la diminution du coût payé pour le système conventionnel. En tant qu'exemple, lorsqu'une partie ou l'ensemble des opérations de déneigement au moyen de camions est remplacée par des tranchées d'écoulement de la neige,  $B2$  est évalué comme

$$B2 = C_T \cdot W \cdot A' \tag{7}$$

où

$C_T$  = coût des opérations de transport par camion pour une tonne de neige transportée,

$W$  = quantité annuelle de neige transportée dans une aire unitaire  $A'$ , et

$A'$  = l'aire couverte de neige où le transport de la neige par camion sera remplacé par des tranchées d'écoulement de la neige.

## 3.2 Demande en opérations de déneigement dans les quartiers résidentiels

### (1) Secteur visé

Uniquement les résidents des maisons situés à proximité des tranchées d'écoulement utilisent généralement ces tranchées pour se débarrasser de la neige accumulée sur la chaussée, les trottoirs et les sites d'habitation situés autour d'eux. Par conséquent, l'aire de déneigement du système de tranchées d'écoulement où sont produits les bénéfices du système peut être définie comme les trois zones susmentionnées, à savoir les routes, les trottoirs et les sites d'habitation. Dans le cas où les tranchées sont construites des deux côtés de la route, la distance du centre de la route jusqu'à l'arrière du site d'habitation avec une profondeur de 20 m est prise dans l'aire de déneigement considéré comme indiqué par  $A$  sur la Figure 2. En outre, dans le cas où les tranchées sont construites que d'un côté de la route, la distance entre deux lignes arrière des deux sites d'habitation avec une profondeur de 20 m chacune est prise dans l'aire de déneigement considéré comme indiqué par  $B$  sur la Figure 2.

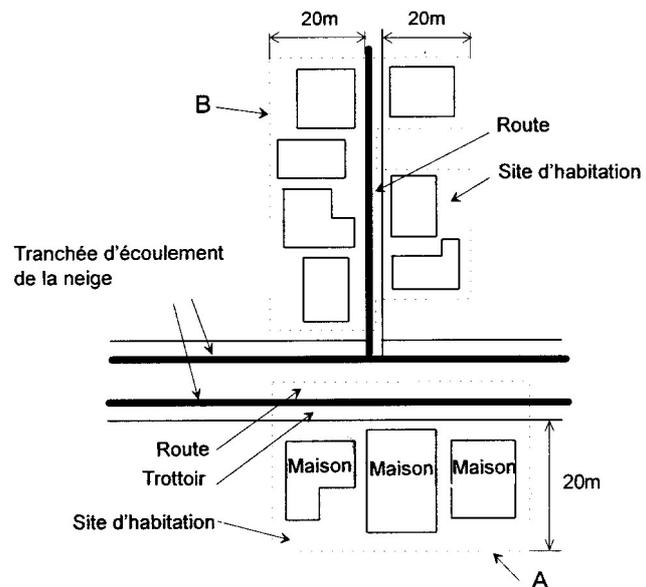


Figure 2. Aires de déneigement

Les bénéfices du système dépendent de la partie susmentionnée et de ses moyens de déneigement. Par conséquent, dans l'aire de déneigement, les bénéfices sont évalués en fonction des six éléments suivants : routes déneigées par des véhicules chasse-neige, routes équipées de tuyauteries pour faire fondre la neige, trottoirs déneigés par des opérations de déneigement, trottoirs couverts avec arcades, sites d'habitation avec demande d'opérations de déneigement (par exemple, les zones où les maisons nécessitent le déneigement du toit et que l'espace disponible autour de l'habitation est insuffisant) et sites d'habitation sans besoins en opérations de déneigement (par exemple, les zones où les maisons

possèdent les équipements nécessaires pour faire fondre la neige). L'équation (6) et l'équation (7) sont appliquées à chaque élément en vue d'évaluer respectivement les bénéfices  $B1$  et  $B2$  du système.

## (2) Distribution de la neige et modèles de transport

$W$  dans l'équation (7) pour chaque item est calculé au moyen d'une simulation par ordinateur (Kamimura et Umemura, 1992) utilisant chaque modèle indiqué sur la Figure 3. Ces modèles simulent la distribution de la neige en utilisant les données observées quotidiennement concernant la couverture de neige à l'endroit considéré. Dans ces modèles,  $W$  est calculé comme la somme de la quantité quotidienne de neige transportée qui ne peut être déplacée et ensuite transportée.

La Figure 3 (a) indique le modèle de route déneigée par véhicule chasse-neige. Lorsque la hauteur de la couche de neige accumulée sur la chaussée de la route atteint 10 cm (densité de  $100 \text{ kg/m}^3$ ), elle est déplacée sur le bas-côté de la route par un véhicule chasse-neige. Lorsque la hauteur de la neige accumulée sur le bas-côté atteint 1,1 m (densité de  $300 \text{ kg/m}^3$ ), qui est la limite pour déplacer la neige avec un véhicule chasse-neige, la neige qui est accumulée sur le bas-côté de la route est chargée sur des camions par un système rotatif de déneigement et transportée jusqu'à un autre endroit. Le bas-côté occupera environ 30% de la largeur de la route.

La Figure 3 (b) indique le modèle de trottoir déneigé par véhicule chasse-neige. Lorsque la hauteur de la couche de neige accumulée sur le trottoir atteint 15 cm (densité de  $100 \text{ kg/m}^3$ ), elle est déplacée sur une largeur de 1,2 m du trottoir sur le bas-côté de la route au moyen d'un petit dispositif rotatif de déneigement. Lorsque la hauteur de la neige accumulée sur le bas-côté atteint 1,1 m (densité de  $300 \text{ kg/m}^3$ ), la neige qui est accumulée sur le bas-côté de la route est chargée sur des camions comme dans le cas susmentionné des routes déneigées par véhicule chasse-neige.

La Figure 3 (c) indique le modèle de trottoir couvert par une arcade. Lorsque la hauteur de la neige accumulée sur le toit de l'arcade atteint 1 m (densité de  $200 \text{ kg/m}^3$ ), elle est jetée manuellement sur le bas-côté et est chargée immédiatement sur des camions par un système rotatif de déneigement et transportée jusqu'à un autre endroit.

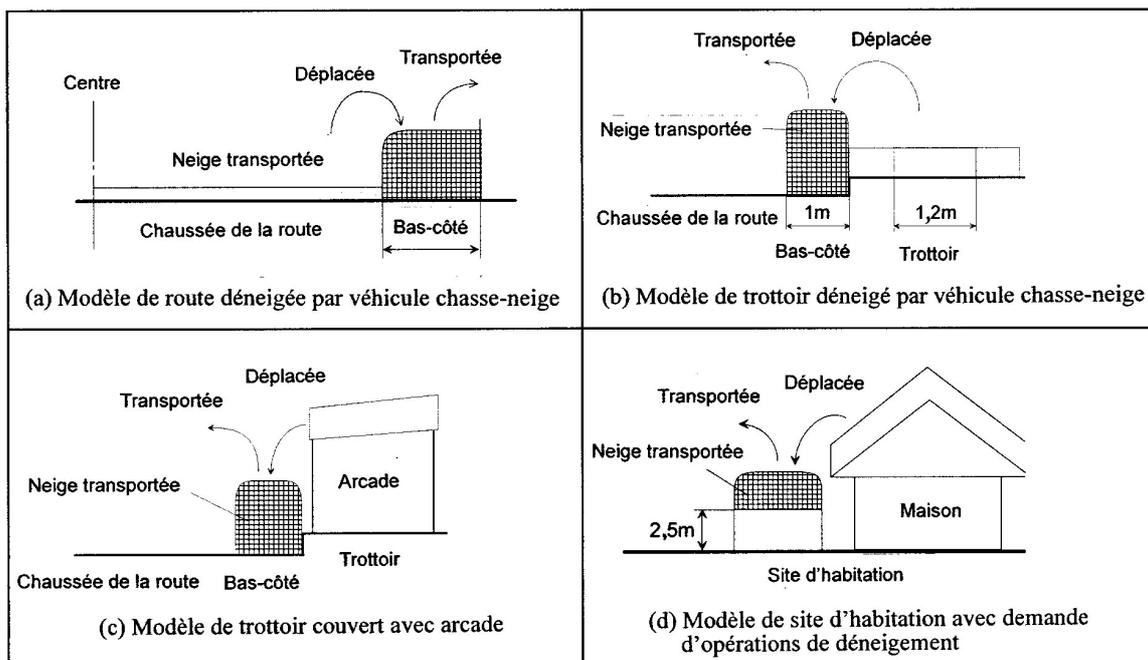


Figure 3. Distribution de la neige et modèles de transport

La Figure 3 (d) indique le modèle de site d'habitation avec des besoins en opération de déneigement. Lorsque la hauteur de la neige accumulée sur le toit des maisons atteint 1 m (densité de  $200 \text{ kg/m}^3$ ), elle est jetée manuellement sur le sol autour de la maison. Lorsque la hauteur de cette neige accumulée sur le sol dépasse 2,5 mètres (densité de  $350 \text{ kg/m}^3$ ), la partie en trop de la neige est transportée afin qu'elle ne touche pas l'avant-toit de la maison.

#### **4. Etudes de cas**

##### **4.1 Système de déneigement par véhicule chasse-neige et système de têtes d'arrosage destinées à faire fondre la neige à Nagaoka**

La méthode mentionnée ci-dessus est appliquée aux deux systèmes les plus répandus dans le quartier du centre commercial de la ville de Nagaoka: système de déneigement par véhicule chasse-neige et système de têtes d'arrosage destinées à faire fondre la neige. La superficie concernée couvre environ  $0,8 \text{ km}^2$  et possède une longueur de routes de 16,1 km incluant 13,6 km de voie équipée d'un dispositif de fonte de la neige par arrosage. Des hivers représentatifs de chutes de neige légères/peu abondantes, chutes de neige moyennes et chutes de neige abondantes ont été choisis afin d'évaluer ces systèmes de déneigement. Si l'on examine les données statistiques concernant un hiver moyen à Nagaoka, on remarque que la hauteur maxi de l'enneigement annuel, ou *HC*, est de 1,3 m, la hauteur de la chute de neige quotidienne cumulée, ou *TF*, de 5,4 m et qu'il existe durant 92 jours (*N*) en hiver une couverture naturelle de neige.

##### **(1) Evaluation du bénéfice B1**

Pour l'évaluation de ces deux systèmes, nous n'avons besoin de considérer que le bénéfice *B1*. le bénéfice peut être calculé en comparant la situation actuelle, c'est-à-dire la superficie et la période de déneigement exécuté actuellement avec les conditions de système existantes, avec la situation virtuelle supposant que le système ne fonctionne absolument pas, c'est-à-dire qu'aucune surface n'est déneigée et que toutes les routes sont couvertes de neige durant tous les jours de la saison hivernale.

Le pourcentage de la superficie déneigée est donné conformément aux caractéristiques du système : par exemple, l'ensemble de la surface de la chaussée sera déneigée avec le système de têtes d'arrosage, et 80% de la chaussée sera déneigée avec les opérations de déneigement exécutées par les véhicules chasse-neige.

Le taux d'intérêt *r* dans l'équation (6) de 0,06 est donné comme le taux d'intérêt typique utilisé dans l'étude précédente (1), et la valeur des terrains *L* provient de la valeur marchande dans le secteur de déneigement considéré. La valeur moyenne de *L* est de  $570.000 \text{ yen/m}^2$ . *F* dans l'équation (6) est  $2.30 \text{ yen/m}^2$ , prix calculé à partir des données récentes concernant les coûts de construction et d'entretien des routes dans la ville de Nagaoka.

##### **(2) Evaluation des coûts C**

Le coût annuel du système, *C*, comprend les coûts de construction ainsi que les coûts d'entretien et d'opération. Des données récentes concernant chaque système indiquent le coût de construction ainsi que les coûts d'entretien. Le coût d'opération est obtenu à partir d'un rapport proportionnel des données archivées avec les données relatives à l'enneigement, telles que *TF* ou *N*.

#### 4.2 Système de réseaux de tranchées destinées à l'écoulement de la neige dans les villes de Tokamachi et Nagaoka

La méthode mentionnée ci-dessus est appliquée à deux systèmes de réseaux de tranchées destinées à l'écoulement de la neige : l'un de petite envergure installé dans la ville de Nagaoka (Système de tranchées SRD de Nagaoka) et l'autre de grande envergure dans la ville de Tokamachi (Système de tranchées SRD de Tokamachi). Le Système de tranchées SRD de Nagaoka est construit dans un quartier résidentiel d'une superficie de 0,25 km<sup>2</sup>. tandis que le Système de tranchées SRD de Tokamachi est construit dans une zone urbaine couvrant une superficie de 1,9 km<sup>2</sup> et où habitent environ 15.000 personnes. La ville connaît d'abondantes chutes de neige ; la hauteur d'enneigement maxi annuel moyen étant de 2,5 m et la hauteur d'enneigement maxi enregistrée par le passé de 4,25 m.

Tableau 1. Caractéristiques techniques de deux systèmes de tranchées destinées à l'écoulement de la neige

	Système de tranchées SRD de Tokamachi	Système de tranchées SRD de Nagaoka
Longueur totales des tranchées	43,2 km	1,35 km
Longueur des canalisations	6,76 km	N/A km
Largeur des tranchées	0,5 m	0,5 m
Profondeur des tranchées	sup. à 0,5 m	sup. à 0,5 m
Profondeur du flux d'eau	0,2 m	0,25 m
Débit hydraulique	2,1 m <sup>3</sup> /sec	0,117 m <sup>3</sup> /sec

Le Tableau 1. indique les caractéristiques techniques de deux systèmes de tranchées destinées à l'écoulement de la neige. Le système installé à Tokamachi est constitué de tranchées ouvertes, de canalisations et de pompes destinées à l'alimentation en eau. De l'eau avec un débit de 2,1 m<sup>3</sup>/sec est pompée à partir de deux rivières durant 11 heures par jour et distribuée à chaque voie de tranchée selon l'emploi du temps et l'horaire prévus.

##### (1) Evaluation du bénéfice B1

Afin d'indiquer une procédure d'évaluation du bénéfice B1, le Tableau 2. indique la valeur de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $A$  dans l'équation (6) pour chaque item concernant le système opérant à Tokamachi. Pour les routes déneigées au moyen de véhicules chasse-neige, on estime que  $R_1$  équivaut à 0,16 en prenant en considération que le bas-côté de la chaussée est couvert partiellement par de la neige, soit environ 16% de la surface de la chaussée. Et on a donné à  $R_2$  la valeur de 0 en posant comme hypothèse que toute la neige sur le bas-côté de la chaussée est jetée dans les tranchées après l'adoption du système. En ce qui concerne les routes équipées de tuyauterie et de têtes d'arrosage destinées à faire fondre la neige et les trottoirs couverts par des arcades, tant  $R_1$  que  $R_2$  ont une valeur nulle car il n'y a pratiquement pas de neige qui recouvre la chaussée ou le trottoir. Quant aux trottoirs déneigés mécaniquement par de petits engins chasse-neige, on estime que la valeur de  $R_1$  équivaut 0,39 en prenant en considération le fait qu'environ 39% de la surface du trottoir est couvert de neige et que la valeur de  $R_2$  est nulle en posant comme hypothèse que toute la neige restante sur le trottoir est jetée dans les tranchées après l'adoption

du système. En ce qui concerne les sites d'habitation, la valeur de  $R_1$  est 0,34 et la valeur de  $R_2$  0,28, valeurs reflétant les résultats de l'analyse des réponses au questionnaire donné aux habitants de la ville de Tokamachi.  $r$  et  $L$  dans l'équation (6) sont obtenus de la même manière que plus haut. La valeur de  $F$  dans l'équation (6) est de 2.460 yen/m<sup>2</sup> à Tokamachi. D'autre part,  $F$  pour les sites d'habitation est négligeable.

Tableau 2 Valeurs pour l'évaluation des bénéfices du système installé à Tokamachi

Item concernant l'aire de déneigement	$R_1$	$R_2$	$A$ (m <sup>2</sup> )	$A'$ (m <sup>2</sup> )
Routes au moyen du déneigement par véhicules chasse-neige	0,16	0	72.980	21.890
Routes avec système de têtes d'arrosage destinées à faire fondre la neige	0	0	25.930	0
Trottoirs au moyen du déneigement par véhicules chasse-neige	0,39	0	6.700	3.590
Trottoirs couverts par des arcades	0	0	6.580	6.580
Sites d'habitation avec besoins en opérations de déneigement	0,34	0,28	400.990	400.990
Sites d'habitation sans besoins en opérations de déneigement	0,34	0,28	139.360	0

### (2) Evaluation du bénéfice B2

La valeur de  $C_T$  dans l'équation (7) est de 1.063 yen par tonne, valeur qui est obtenue à partir des calculs effectués sur la base des données archivées à Tokamachi ou des dispositifs de déneigement rotatifs (puissance de 300PS) et des camions (capacité de &1 tonnes) ont été utilisés pour exécuter les opérations de déneigement.

On a indiqué la valeur de  $A'$  pour chaque item considéré sur le Tableau 2. Pour les routes déneigées par des chasse-neige,  $A'$  correspond à la superficie du bas-côté, qui équivaut à 30% de 1. Pour les routes équipées de têtes d'arrosage, la valeur de  $A'$  est nulle puisqu'il n'est pas nécessaire de procéder à des travaux de déneigement. Quant aux trottoirs déneigés par petits engins chasse-neige,  $A'$  est la superficie à déneiger au moyen de petits engins rotatifs de déneigement, à savoir une largeur de 1,2 m pour une longueur de 2.992 m. Pour les trottoirs couverts par des arcades,  $A'$  correspond à la superficie du toit des arcades, la même que  $A$ . En ce qui concerne les sites d'habitation avec des besoins en opérations de déneigement,  $A'$  équivaut à  $A$ , et pour les sites d'habitation sans besoin en opérations de déneigement, la valeur de  $A'$  est nulle.

### (3) Evaluation des coûts C

Le coût de construction s'élève à 243 millions de yen/an, montant qui est déterminé par le coût estimé de l'ensemble du coût de la construction du système (4 milliards 860 millions de yen) divisé par une durée de vie de 20 ans. Le coût d'entretien est de 5 millions/an obtenu à partir des données enregistrées récemment à Tokamachi. Le coût d'opération (montant annuel des charges en électricité pour le fonctionnement des pompes) est évalué à  $5+0,12N$  de millions de yen/an, en supposant que les pompes sont en opération 11 heures par jour pour un nombre de jours  $N$  où il y a une couche de neige.  $C$  est calculé de la manière suivante comme somme de ces divers coûts :

$$C = 253 + 0,12N \text{ (en millions de yen)} \quad (7)$$

Cette procédure d'estimation du coût s'applique également au système de déneigement SRD de Nagaoka.

## 5. Résultats de l'analyse

Les résultats de l'analyse des bénéfices, des coûts et des rapports des coûts/bénéfices,  $B/C$ , pour ce système de déneigement sont résumés sur le Tableau 3. Le système de déneigement par des véhicules chasse-neige possèdent un  $B/C$  relativement élevé de 7,6 et de 10,7 respectivement pour un hiver avec d'abondantes chutes de neige et un hiver avec un enneigement moyen. Si on compare ces résultats avec une étude précédente, Igarashi (1971) indique que  $B/C$  égale 5,7 pour les opérations de déneigement par des véhicules chasse-neige à Sapporo (Japon) et Sakai et coll. (1993) indique  $B/C$  égale 5,7 en moyenne en utilisant le total du budget consacré au déneigement pour l'ensemble de la superficie de la Préfecture de Niigata au Japon. Cette comparaison démontre la validité des résultats. En outre, la valeur  $B/C$  affecte fortement la valeur des terrains. Par conséquent, les valeurs  $B/C$  varient de 3,1 à 19,7 pour des pâtés de maisons séparés dont la valeur du  $m^2$  se situe entre 260.000 yen et 1.400.000 yen. On peut également constaté que le système à têtes d'arrosage possède pratiquement le même effet économique comme indiqué sur le Tableau 3.

Les résultats de l'analyse économiques utilisant des données statistiques concernant le système de réseaux de tranchées de petite envergure à Nagaoka indique que la valeur  $B/C$  se situe aux alentours d'un, c'est-à-dire que son effet économique dépend de la quantité de chute de neige. En utilisant les dates des chutes de neige et la hauteur de l'enneigement pour la période de 20 années allant de 1975 à 1994, les bénéfices, les coûts ainsi que les rapports coûts/bénéfices du système de tranchées destinées à l'écoulement de la neige dans la ville de Tokamachi ont été calculés comme indiqué sur le Tableau 3. Le bénéfice total divisé par le coût total pour cette période de 20 ans est de 0,85, prouvant que ce système n'est pas effectif du point de vue économique. Toutefois, l'effet économique dépend de la quantité de chute de neige. Ainsi, par exemple, les rapports coûts/bénéfices pour la première décennie (1975 – 1984, hauteur de l'enneigement annuel moyen de 2,77 m) et pour la seconde décennie (1985 – 1994, 1,94 m) sont respectivement 1,08 et 0,62.

La Figure 4. indique la relation entre les bénéfices et coûts annuels et la hauteur maxi de l'enneigement annuel pour la période de 20 années considérée. Les bénéfices augmentent de manière accélérée lorsque la hauteur maxi de l'enneigement annuel augmente, mais les coûts demeurent pratiquement constants. En conséquence de quoi les rapports coûts/bénéfices sont exprimés par le même tracé que les bénéfices en fonction de l'échelle de l'axe vertical droit. D'après ces résultats, il s'ensuit que lorsque la hauteur de l'enneigement annuel moyen est supérieur à environ 3 m, le système possède un rapport coûts/bénéfices annuel supérieur à 1, démontrant ainsi que le système est effectif du point de vue économique.

La Figure 5. indique les bénéfices  $B1$  et  $B2$  sur les routes, les trottoirs et les sites d'habitation pour les années caractéristiques de chutes de neige légères/peu abondantes (1991), chutes de neige moyennes (1994) et chutes de neige abondantes (1983). Il indique que  $B2$  est supérieur à  $B1$  et que le facteur principal des bénéfices sont les sites d'habitation.  $B2$  pour les sites d'habitation augmente considérablement quand l'abondance des chutes de neige augmente. Ceci est dû au fait que la quantité de neige transportée par camions qui est altérée par le système augmente considérablement en parallèle avec l'augmentation de la fréquence du déneigement des toits. Cette caractéristique de  $B2$  semblerait déterminer l'efficacité économique du système.

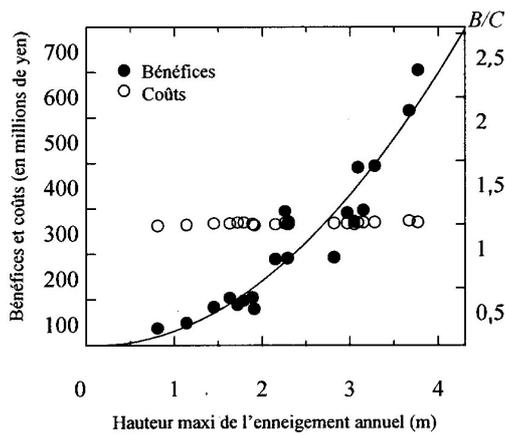


Figure 4. Bénéfices et coûts du système de Tokamachi

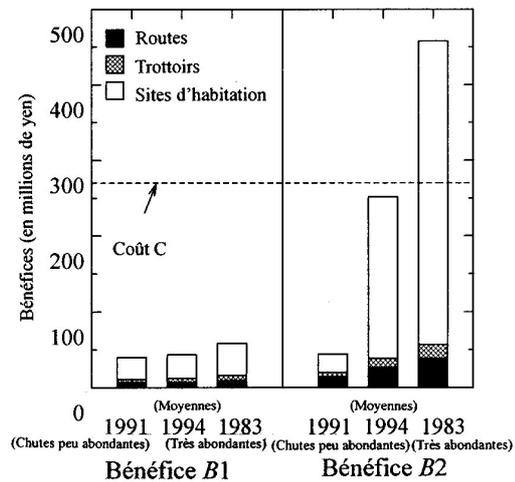


Figure 4. Bénéfices et coûts du système de Tokamachi

Tableau 3. Résultats de l'analyse des coûts/bénéfices

Année	Données concernant la neige		Résultats des calculs			
	Hauteur maxi de l'enneigement (m)	Jours d'enneigement (jours)	Bénéfices B1 (en millions de yen)	Bénéfices B2 (en millions de yen)	Coûts C (en millions de yen)	Bénéfices/coûts
Système destiné à faire fondre la neige installé dans le quartier du centre commercial de Nagaoka						
B('86)	1,26	92	1036	Néant	95,0	10,9
C('85)	2,25	130	1567	Néant	97,6	16,1
Opérations de déneigement au moyen de chasse-neige dans le quartier du centre commercial de Nagaoka						
B('86)	1,26	92	683	Néant	64,0	10,7
C('85)	2,25	130	1068	Néant	141,0	7,6
Réseau de tranchées permettant l'écoulement de la neige à Nagaoka (syst. à petite échelle)						
A*1	0,60	71	6,27	0	8,34	0,75
B*2	1,26	92	8,13	1,15	8,36	1,11
C*1	2,31	127	11,24	3,44	8,38	1,79
Réseau de tranchées permettant l'écoulement de la neige à Nagaoka (syst. à grande échelle) dans la ville de Tokamachi						
A('91)	1,45	113	40	44	267	0,31
B('94)	2,26	123	43	251	268	1,10
C('83)	3,67	166	58	458	273	1,89

A: Année avec des chutes de neige peu abondantes, B: Année avec un enneigement moyen, C: Année avec des chutes de neige abondantes

\*1: Période de rendement de l'investissement de 10 ans, \*2: Période de rendement de l'investissement de 10 ans

## 6. Conclusion

Nous proposons dans ce rapport d'étude une méthode d'analyse simple des coûts et bénéfices des opérations de déneigement menées dans les zones urbanisées du Japon basée sur le prix des terrains. La principale cause des dommages causés par la neige est l'occupation de l'espace par la couche de neige accumulée et/ou les tas de neige formés à la suite des opérations de déneigement. Si on pose comme hypothèse que les bénéfices produits par l'adoption d'un nouveau système de déneigement correspondent à la valeur de location des terrains sur lesquels on a adopté ledit système multiplié par la superficie déneigée par ledit système, on peut facilement calculer le rapport des coûts et bénéfices,  $B/C$ , à partir des données et rendues publiques comme les prix des terrains, la superficie qu'il est prévu de traiter et le coût du système.

Des études de cas concernant les systèmes conventionnels de déneigement existant (déneigement

au moyen de chasse-neige, utilisation de tuyauterie et de têtes d'arrosage destinées à faire fondre la neige, réseau de tranchées permettant l'écoulement de la neige) dans les villes de Nagaoka et de Tokamachi situées dans la Préfecture de Niigata. Les rapports coûts/bénéfices de ces systèmes conventionnels sont supérieurs à 10 et sont grandement affectés par l'importance des chutes de neige durant l'hiver ainsi que la valeur des terrains. La validité de ces résultats est confirmée par les résultats d'autres analyses des coûts et bénéfices concernant les opérations de déneigement au moyen d'engins comme des chasse-neige. Alors que le rapport coûts/bénéfices des réseaux de tranchées permettant l'écoulement de la neige installés à Tokamachi est approximativement d'un, on est parvenu à la conclusion que ce système était économiquement efficient.

Cette méthode est applicable à d'autres endroits où l'on envisage de mettre en place un système de déneigement et elle contribuera à sélectionner les mesures de prévention contre les dégâts causés par la neige.

### **Remerciements**

Les auteurs souhaitent exprimer leur profonde reconnaissance à la Mairie de la ville de Nagaoka et à celle de la ville de Tokamachi pour avoir bien voulu leur fournir nombre des données utilisées dans cette étude et des informations utiles concernant les opérations de déneigement dans leur ville respective.

### **Documents de référence**

1. T. Umemura, S. Kamimura and H. Otaki. Snow Damage in An Urban Area with Heavy Snow Fall. *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.13, No.1, pp.1-11, 1991.
2. S. Kamimura, T. Umemura. Estimation of Snow Damage in an Urban Area with Heavy Snowfall, *Annals of Glaciology*, Vol. 18, pp. 325-326, 1993.
3. S. Kamimura, T. Umemura. Estimation of Daily Snow Mass on the Ground Using Air Temperature and Precipitation Data, *CRREL Special Report92-27, 2nd Int'l Conf. on Snow Engineering*, pp.157-167, 1992.
4. K. Morohashi and T. Umemura. Economic Evaluation of Snow-removal Systems in an urban area with heavy snowfall, Part I Benefit/Cost calculation of Existing Snow-removal Systems in the Commercial Area of Nagaoka City, *Seppyo (Journal of Japan Society of Snow and Ice)*, Vol. 57. No.1, pp3-10, 1995. (in Japanese)
5. K. Morohashi and T. Umemura. Economic Evaluation of Snow-removal Systems in an urban area with heavy snowfall, Part 2 Benefit-Cost calculations of snow-removing channels, *Seppyo (Journal of Japan Society of Snow and Ice)*, Vol. 58. No.2, pp1173-123, 1996. (in Japanese)
6. K. Morohashi and T. Umemura. Economic Evaluation of Snow-removal Systems in an urban area with heavy snowfall, Part 3 Economic evaluation of the snow-removing channel system in Tokamachi City, *Seppyo (Journal of Japan Society of Snow and Ice)*, Vol. 59. No.1, pp3-10, 1997. (in Japanese)