

COMPORTEMENT DES PIETONS SUR LES PASSAGES PROTEGES AUX CARREFOURS EN HIVER

¹Yoko SHINTANI, ¹Fumihiko HARA, ²Yoshimitsu HIRAMORI, ³Motoki ASANO,

¹ Hokkaido Development
Engineering Center,
#11, South-1, East-2, Chuo-ku,
Sapporo, Hokkaido, 060-0051,
Japon
Téléphone : +81-11-271-3028 /
Télécopie : +81-11-271-5115 /
E-mail : shintani@decnet.or.jp

² Hokkaido Development Bureau,
North-2, West-19, Chuo-ku,
Sapporo, Hokkaido, 060-8506,
Japon
Téléphone : +81-11-611-0111 /
Télécopie : +81-11-611-0797 /
E-mail : takesi-i@hda.go.jp

³ Civil Engineering Research
Institute de Hokkaido
1-3, Hiragishi, Toyohira-ku,
Sapporo 062-8602 Japon
Téléphone : +81-11-841-1111 /
Télécopie : +81-11-841-9747 /
E-mail : m-asano@ceri.go.jp

1. Contexte et objectifs de la recherche

Le climat hivernal du Nord du Japon, caractérisé par de fortes chutes de neige et des températures relativement basses, est source de difficultés particulières pour les piétons. La neige déblayée des routes est entassée sur le côté de la chaussée, rétrécissant les trottoirs, obstruant le champ de vision des piétons et augmentant la probabilité d'accidents de la circulation et d'autres accidents impliquant des piétons. En outre, les surfaces glissantes augmentent la probabilité d'accidents où les piétons glissent et tombent (appelés ci-après "accidents par chute"). Cet environnement de déplacement piéton augmente la probabilité d'accident pour les personnes dont la mobilité n'est pas réduite par ailleurs. Pour les personnes âgées dont la mobilité est souvent réduite, cet environnement rend les conditions de déplacement plus qu'inconfortables : c'est un obstacle très important à leur mobilité en hiver.

La formulation de contre-mesures efficaces contre les accidents par chute nécessite tout d'abord de clarifier les problèmes de l'environnement de déplacement piéton en hiver et les causes d'accidents par chute. Les études sur les accidents par chute réalisés dans différents domaines font état de la gravité des blessures subies par les personnes âgées et de l'importance de la mise en place d'un environnement de déplacement piéton sûr. Toutefois, ces études ne fournissent pas d'informations fondamentales comme le nombre de chutes effectives ou évitées de justesse, les caractéristiques des victimes de chutes et le lieu des accidents. Par conséquent, le mécanisme des accidents par chute n'a pas encore été mis à jour.

Les résultats d'étude de Merrild et Bak¹⁾, au Danemark, et d'Oberg²⁾, en Suède, comprennent le nombre de chutes et les caractéristiques des victimes de chutes d'après les dossier médicaux établis par les hôpitaux. Toutefois, leurs études portent uniquement sur des personnes assez gravement blessées en incluant celles qui ont été hospitalisées. Les études de Hara et al.³⁾ et de Nihonyanagi et al.⁴⁾, analysent les dossiers des interventions d'ambulances pour les accidents par chute. Ces études portent uniquement sur les personnes gravement blessées dans des accidents par chute, comme pour les études mentionnées plus haut. Aucune de ces études ne donne d'informations sur les personnes qui ont chuté sans se rendre à l'hôpital et sur les gens qui ont glissé sans tomber.

Merrild et Bak¹⁾ et Oberg²⁾ ont étudié l'endroit des accidents par chute en interrogeant, dans des entretiens en direct ou par téléphone, les personnes blessées lors d'une chute. Toutefois, leurs études n'indiquent pas les particularités de l'endroit de la chute, la structure de la route (par exemple milieu du trottoir, transition entre le trottoir et la chaussée) et l'état de la surface. Hara et al.⁵⁾ ont réalisé un questionnaire portant sur des femmes de Sapporo, destiné à récapituler le nombre et l'endroit des accidents par chute en hiver. Cependant, comme dans les études précédentes, cette étude ne donne aucune information concrète sur les accidents au moment où ils se sont produits. Dans les études de suivi, les informations recueillies ne sont pas toujours crédibles car la mémoire de la victime de la chute est la seule source d'information.

A la lumière de ce qui précède, la recherche porte sur le centre de Sapporo, en particulier les carrefours qui présentent l'environnement de déplacement piéton en hiver le plus difficile. Une étude des accidents par chute, une étude de l'environnement de déplacement piéton et une expérience de traversée d'un passage piéton en hiver ont été réalisées pour analyser le comportement des piétons et les

causes des accidents par chute en hiver. Cette étude donne les résultats, afin d'améliorer l'environnement de déplacement piéton en hiver en suggérant par exemple des améliorations des carrefours "sans barrière" et de leurs alentours.

2. Etude des accidents par chute

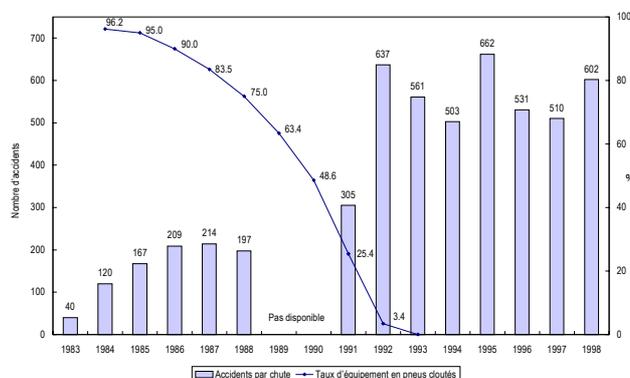
La ville de Sapporo a interdit les pneus cloutés en 1991, afin de supprimer la pollution par la poussière résultant de l'usure qu'ils provoquaient. Toutefois, cette décision a provoqué une augmentation rapide des surfaces glissantes, ce qui a dégradé l'environnement de déplacement piéton en hiver. La figure 1 résume les variations du nombre de victimes de chutes transportées en ambulance en hiver et le taux d'équipement en pneus cloutés à Sapporo. Elle fait apparaître environ 200 accidents par an dans la deuxième moitié des années 1980, lorsque les pneus cloutés étaient encore en vigueur. En revanche, depuis 1992, date à laquelle la transition vers les pneus sans clous a pris fin, le nombre annuel d'accidents a progressé spectaculairement à 500-600.

Il est très difficile de recenser chaque personne qui a chuté ou a failli chuter dans le centre de Sapporo et de noter les conditions et le lieu de chaque accident de ce type. Les lieux les plus susceptibles d'être le théâtre d'accidents par chute ont été identifiés afin de permettre l'étude des particularités de l'environnement de déplacement piéton et des accidents par chute à ces encroits. Pour l'identification, le nombre d'interventions d'ambulances pour les accidents par chute au cours des hivers (décembre à mars) 1996 à 1999 a été trié bloc par bloc (Tableau 1), du fait que les rues sont orientées parallèlement nord-sud et est-ouest pour former un quadrillage net dans le centre de la ville.

Il est intéressant de noter la forte proportion d'accidents par chute dans le bloc sud 4 ouest 3, qui est le quartier de la vie nocturne de Susukino (les chiffres excluent les victimes de chutes prises en charge par le service des urgences qui fonctionne pendant le Festival de la Neige de Sapporo, début février). Etant donné que les accidents se produisent principalement la nuit (17h00-6h59), on estime que les causes ne sont pas uniquement les surfaces verglacées et les chutes de neige mais aussi l'état d'ébriété des piétons. Par contraste, les accidents par chute pendant la journée (7h00-16h59) sont très nombreux dans le bloc sud 2 ouest 2 et 3, où sont concentrés les magasins de vente au détail, les restaurants et les établissements exerçant une activité semblable. La forte concentration entre 14h00 et 17h00 indique que la plupart des blessés sont des personnes qui font leurs achats. Sur les 11 victimes de chutes dans ces blocs, 7 sont des femmes de 58 ans et plus. Cette tendance confirme la conclusion de Hara et al.⁵⁾ selon laquelle "le nombre de chutes de piétons augmente proportionnellement à l'âge et les accidents sont particulièrement nombreux chez les femmes de 50 ans et plus."

Compte tenu de ce qui précède, une enquête a été réalisée sur l'environnement de déplacement piéton en hiver et les particularités du comportement des piétons à proximité de sud 2, ouest 2 et 3, où il a été confirmé que le nombre d'accidents par chute dans la journée était élevé. Ce quartier a été choisi de préférence au quartier de Susukino, où l'ivresse des piétons semble responsable d'un grand nombre d'accidents par chute.

Figure 1. Variations du nombre de victimes de chutes transportées en ambulance en hiver et du taux d'équipement en pneus cloutés à Sapporo



Source : le nombre de victimes de chute est le nombre total entre décembre et février de chaque année, tiré des dossiers d'intervention des ambulances des services d'incendie de la ville de Sapporo. Le taux d'équipement est tiré des études réalisées par la ville de Sapporo pour la période la plus froide de l'hiver.

Tableau 1. Nombre d'interventions des ambulances, bloc par bloc, pour les victimes de chutes en hiver

1996~1999 (Décembre-Mars)													1996~1999 (Décembre-Mars)																
Jour (7.00~16.59)													Nuit (17.00~6.59)																
	Ouest 11	Ouest 10	Ouest 9	Ouest 8	Ouest 7	Ouest 6	Ouest 5	Ouest 4	Ouest 3	Ouest 2	Ouest 1	Est 1	Est 2	Est 3		Ouest 11	Ouest 10	Ouest 9	Ouest 8	Ouest 7	Ouest 6	Ouest 5	Ouest 4	Ouest 3	Ouest 2	Ouest 1	Est 1	Est 2	Est 3
Nord 8						2			1			1			Nord 8								2						
Nord 7									3			1			Nord 7	1					1	2			1				
Nord 6				1		1	1	1	5			1	1		Nord 6									1	5				
Nord 5		1					1	3			1				Nord 5					3	1	4	1		2	1			
Nord 4									3	2	2		1		Nord 4						1	1	4		1	2			
Nord 3					1				1	2			1		Nord 3					1	1	1	2	2		1			
Nord 2						1			1	2			1		Nord 2								2	2			2		
Nord 1		1		1		1	1	1	1	2			1		Nord 1	1			1	1		1	3	3	2	2			
Odon	2		2	2		6*	1	3	1	1	2	1	1		Odon		4	2	2	2	32*	4	3	2	3	9			
Sud 1	1				1		2	3		3	2				Sud 1	2	2		1	1	1	4	3	3	1	1	1	2	
Sud 2						1	1		3	5	1	1	1		Sud 2	3	1				3	4	2	3	3	1			
Sud 3			1						1	1	1	1			Sud 3			2	2	3	1	3	3		5	2	2		
Sud 4			1						2	1	1	1			Sud 4			1		1	1	8	15	36	5	4			
Sud 5			3		1		2								Sud 5	3	1	1	1	3	12	18	25	14	4	3	1	2	
Sud 6		1		1	1	1	1	1							Sud 6					2	4	6	9	8	2	1	1		
Sud 7				1		1							1		Sud 7				1	1	7	3	4	7	4	3	2		
Sud 8	1			2	1	2		1	1						Sud 8				1		1	2	2	2	3				
Sud 9			3	2	1	1		2				1			Sud 9						1	1	3	6	1	1			
Sud 10		1	1	1	1			1							Sud 10				1	1	3				1	1			

* Odon-6: Un poste d'urgences médicales temporaire a été mis en place à cet endroit pour le Festival de la Neige.

Source : Rapport sur les accidents par chute dus à la neige - Service Interventions du Département de prévention et de lutte contre les incendies du Bureau Incendie de Sapporo

3. Etude de l'environnement de déplacement piéton

1) Etude des accidents par chute par caméra vidéo

Afin de déterminer avec précision les caractéristiques des piétons qui ont chuté ou failli chuter, nous avons fait un enregistrement vidéo des lieux des accidents par chute effectifs ou évités de justesse, de l'état de ces lieux et de leur cadre, dans la zone d'étude (sud 1 et 2, ouest 2). Ces lieux ont été choisis en fonction des résultats de l'étude des accidents par chute mentionnée précédemment. Des caméras vidéo ont été installées au premier étage de bâtiments commerciaux au carrefour pour avoir une vue plongeante sur un point de chacun des passages piétons est-ouest et nord-sud, afin de déterminer le sexe et l'âge d'après l'apparence des piétons. L'enregistrement avait lieu pendant les 2 à 3 heures comprises entre 13h30 et 17h00 environ, 2 à 4 fois par semaine du 9 janvier au 17 février 2001. La durée totale d'enregistrement est de 21 heures 16 minutes, répartie sur 20 jours.

On a noté 213 chutes effectives ou évitées de justesse au cours de la période d'étude, dont 34 (16 %) chutes effectives. La plupart des endroits où se sont produits les accident par chute étaient des transitions brutales entre le trottoir et le passage piéton verglacé. Le 27 janvier, date où le nombre d'accidents par chute a été le plus élevé de toute la période d'enregistrement, les accidents par chute ont été concentrés sur les portions planes des passages piétons recouvertes de verglas. De plus, les piétons avaient tendance à chuter ou à éviter la chute de justesse les uns après les autres au même endroit (Figure 2).

Le tableau 2 compare le nombre de piétons et le nombre de personnes qui ont chuté ou failli chuter aux endroits propices aux chutes. Le tableau montre que les personnes qui ont chuté ou failli chuter représentent environ 5 % de l'ensemble des piétons. Le tableau montre également que, bien que les hommes aient été moins nombreux que les femmes, le nombre d'hommes qui ont chuté ou failli chuter était supérieur au nombre de femmes. L'âge a été déterminé par les enquêteurs d'après l'apparence. Bien qu'il soit difficile de confirmer la précision des résultats, ils font apparaître que les accidents par chute effectifs ou évités de justesse étaient les plus nombreux pour les 16-30 ans, qui sortent davantage que toutes les autres tranches d'âge (Tableau 3).

Afin d'étudier le nombre d'accidents par chute effectifs ou évités de justesse en fonction du sexe, l'indépendance de la moyenne de la population a été vérifiée par la méthode du khi carré de Pearson d'après les hypothèses suivantes :

Hypothèse H1

Hypothèse nulle H1₀ : les accidents par chute effectifs ou évités de justesse sont indépendants du sexe du piéton.

Autre hypothèse H1₁ : les accidents par chute effectifs ou évités de justesse dépendent du sexe du piéton.

Le tableau 4 montre que l'hypothèse nulle H1 n'est pas prouvée pour son niveau de

signification (1 %), ce qui prouve que le risque de chute est plus élevé pour les hommes que pour les femmes.

2) Etude sur le terrain

Du fait que l'étude vidéo sur les accidents par chute portait uniquement sur les passages piétons, une étude sur le terrain destinée à examiner les facteurs de danger de chute sur le trottoir près du carrefour a été réalisée pour compléter l'étude sur les accidents par chute. Les parcours de contrôle ont porté sur trois zones choisies de manière arbitraire. Trois paires d'enquêteurs (six enquêteurs au total) ont marché, lors de différents parcours, pour noter les endroits et l'état de la surface où ils ressentaient un danger. Les distances parcourues étaient comprises entre 300 et 350 m. Lors du choix des parcours, des efforts particuliers ont été faits pour sélectionner des trottoirs qui ne bénéficiaient pas de mesures de traitement hivernal des surfaces comme le chauffage du revêtement. De plus, les conditions de marche ont été diversifiées pour confirmer leurs répercussions sur la probabilité de chute. Les enquêteurs ont marché normalement, ont marché rapidement, ont porté un sac à dos pesant environ 20 % de leur poids et ont marché avec un pied plâtré. Ils ont relevé les situations où ils avaient ressenti un danger.

Les deux enquêteurs n'ont chuté lors d'aucun parcours mais ils ont ressenti un danger dans 19 situations. Le tableau 5 montre le nombre de situations où les enquêteurs ont ressenti un danger en fonction de la condition de marche. L'impression de danger était maximale dans le cas de la marche avec un pied plâtré, suivie du transport d'un sac à dos lourd.

Les endroits où les enquêteurs ont ressenti un danger sont les passages piétons verglacés, les zones de transition abruptes et les zones de transition entre le trottoir et le passage piéton où les chutes sont nombreuses, ainsi que les trottoirs des ponts où la température de la surface peut varier brutalement. Parmi les coefficients de frottement mesurés aux endroits dangereux, la valeur minimale (μ) était de 0,05, ce qui correspond à une surface extrêmement glissante (Tableau 6). Une surface humide s'était formée aux endroits présentant un coefficient de frottement de 0,5 et des films de glace étaient présents de manière sporadique. On peut donc supposer qu'il était difficile de réaliser une mesure précise.

La taille de l'échantillon de cette étude était limitée, ce qui rend une analyse quantitative précise difficile. Toutefois, il se confirme que les caractéristiques des surfaces dangereuses près du carrefour et les restrictions à la marche se cumulent.

Figure 2. Lieu des accidents par chute dans la zone d'étude

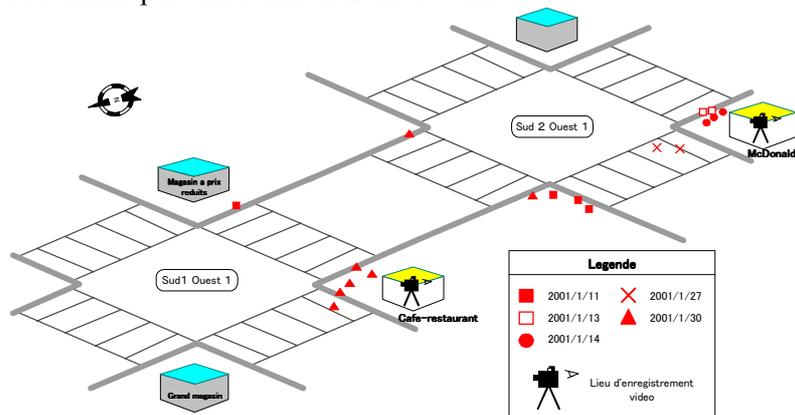


Tableau 2. Nombre de victimes de chutes effectives ou évitées de justesse par sexe (27 janvier)

	Femme	Homme	Total
Aucun incident	2375	1754	4129
%	54.77	40.45	95.23
Dérapage et/ou chute	82	125	207
%	1.89	2.88	4.77
Total	2457	1879	4336
%	56.67	43.33	100

Tableau 3. Nombre de victimes de chutes effectives ou évitées de justesse par âge (27 janvier)

	Nourrison	Enfant	Adolescents-Trentenaires	Quadragénaires-Sexagénaires	Septuagénaires	Total
Aucun incident	53	71	3046	924	35	4129
%	1.22	1.64	70.25	21.31	0.81	95.23
Dérapage et/ou chute	2	5	167	29	4	207
%	0.05	0.12	3.85	0.67	0.09	4.77
Total	55	76	3213	953	39	4336
%	1.27	1.75	74.10	21.98	0.90	100

Tableau 4. Vérification de l'indépendance de la moyenne de la population par la méthode du khi carré de Pearson
Hypothèse H1

	Valeur	Degré de liberté	Signification asymptotique (bilatérale)	Signification exacte (bilatérale)	Signification exacte (unilatérale)	Niveau de signification
Khi carré de Pearson (2)	25,739	1	0,000			<0,01
Corrélation de la continuité (1)	25,015	1	0,000			<0,01
Rapport de probabilité	25,473	1	0,000			<0,01
Test exact de Fisher				0,000	0,000	<0,01
Nombre de cas valables	4336					

(1) Calculé uniquement pour un tableau 2x2.

(2) 0 cellule (0 %) possède un nombre prévu inférieur à 5. Le nombre prévu minimal est 89,70.

Tableau 5. Nombre de situations où un danger a été ressenti

Classification du risque	Condition de marche				Total
	Normale	Rapide	Avec un sac à dos lourd	Avec une cheville plâtrée	
0 Marche lente et prudente	0	0	3	1	4
1 Léger dérapage mais poursuite de la marche	2	3	2	7	14
2 Dérapage et chute évitée de justesse	0	0	1	0	1
3 Dérapage et chute	0	0	0	0	0
Total	2	3	6	8	19

Tableau 6. Coefficient de frottement et état des surfaces où un danger a été ressenti

Parcours	Cas	Condition de marche	Classification du risque	Coefficient de frottement (13:00)*	Remarques
S1W10	D21	2	0	0.13-0.23	La partie centrale du passage piéton était légèrement bosselée.
	A31	3	1	0.17-0.28	Il y avait des plaques de verglas, des bosses, des différences de niveau et des inclinaisons très marquées dans la zone de transition entre le passage piéton et le trottoir.
S4E2	B01	0	1	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
	B11	1	1	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
	D11	1	1	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
	B21	2	1	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
	C20	2	0	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
	D21	2	1	0.17-0.2	De la neige tassée, des bosses et des inclinaisons très marquées ont été observées au centre du trottoir.
	A31	3	1	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
	B31	3	1	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
N2E1	D31	3	1	0.05-0.15	La partie centrale du passage piéton était plane mais il y avait des plaques de verglas.
	B01	0	1	0.36	Des pellicules de glace étaient réparties de manière sporadique sur le trottoir du pont.
	C11	1	1	0.5	Des pellicules de glace étaient réparties de manière sporadique sur le trottoir du pont.
	B21	2	0	0.2-0.3	Il y avait des plaques de verglas, des bosses, des différences de niveau et des inclinaisons très marquées dans la zone de transition entre le passage piéton et le trottoir.
	B22	2	2	0.5	Des bosses et des différences de niveau ont été observées au centre du trottoir et les dérapages se sont produits à cet endroit sur la pellicule de glace rugueuse.
	A31	3	1	0.5	Des pellicules de glace étaient réparties de manière sporadique sur le trottoir du pont.
	A32	3	1	0.3-0.4	Des bosses et des différences de niveau ont été observées au centre du trottoir et les dérapages se sont produits à cet endroit sur la pellicule de glace rugueuse.
B31	3	1	0.5	Des pellicules de glace étaient réparties de manière sporadique sur le trottoir du pont.	
D31	3	0	0.5	Des pellicules de glace étaient réparties de manière sporadique sur le trottoir du pont.	
Total			19		

*Le coefficient de frottement était mesuré à 13h00 le jour de l'étude.

Légende

Condition de marche							
0	Normale	1	Rapide	2	Avec un sac à dos lourd	3	Avec une cheville plâtrée

4. Expérience sur la marche

1) Grandes lignes de l'expérience

Mano⁶⁾, qui étudie les chutes des personnes âgées du point de vue de la rééducation, classe les facteurs potentiels d'accidents par chute en facteurs internes et facteurs externes. Ce sont respectivement les caractéristiques physiques et mentales des piétons et les facteurs d'environnement des piétons. Il montre que de nombreux accidents par chute sont dus à l'interaction de facteurs internes et externes. Sur cette base, on peut dire que les chutes dans la rue, en hiver, sont dues à l'interaction entre les facteurs internes de la capacité physique des piétons et de l'adaptabilité à l'environnement et les facteurs externes des surfaces enneigées et verglacées, des inclinaisons très marquées, des différences de niveau, des inégalités du sol, etc. Les piétons dont la mobilité n'est normalement pas réduite chutent lorsque l'environnement de déplacement piéton difficile en hiver (facteur externe) dépasse leurs limites physiques. Les piétons comme les personnes âgées et les handicapés physiques, dont la mobilité est normalement réduite, n'ont pas la capacité physique de s'adapter à l'environnement (facteur interne). Ainsi, ils chutent en raison de leur incapacité à s'adapter totalement à l'environnement de déplacement piéton difficile en hiver.

Cette expérience sur la marche analyse les effets de facteurs externes considérés comme responsables des chutes qui dépassent la capacité physique des piétons (à mobilité normale), puis analyse les causes des chutes des personnes âgées et des handicapés physiques (à mobilité réduite).

Cette expérience a été réalisée sur un trottoir extérieur modélisé d'après un trottoir en hiver (Figure 3). Il est possible de modifier l'état de la surface de ce trottoir entre enneigé, verglacé et sans neige. La pente transversale et la déclivité du trottoir sont également variables. Etant donné que différents facteurs externes ont été anticipés, les facteurs objets de l'étude ont été limités au niveau de glissance et à la déclivité de la surface. Des combinaisons de déclivités ont été déterminées à partir de la grille orthogonale, pour des raisons d'efficacité (Tableaux 7 et 9). Les sujets étaient 13 personnes en bonne santé d'une vingtaine d'années (6 hommes, 7 femmes). Les vitesses de marche des parcours circulaires sur le même trottoir ont été mesurées dans différentes conditions et le comportement lors de la marche a été relevé (Tableau 8).

2) Analyse

(1) Vitesse de marche

Les vitesses de marche des sujets ont été comparées en fonction de la déclivité et de l'état de la surface (Figure 4 (1)). La figure montre que la vitesse de marche est pratiquement constante sur la surface sans neige, quelle que soit la déclivité, et qu'elle varie considérablement sur la surface verglacée en fonction de la déclivité. Une diminution de la vitesse de marche est particulièrement sensible lorsque l'état de la déclivité (ci-après "GC") est 3, 6, 8 et 9. Les vitesses de marche sur la partie passage piéton ont été comparées, en fonction de la déclivité combinée de la partie passage piéton (Figure 4(2)). La figure montre que la vitesse de marche diminue lorsque la déclivité combinée est supérieure ou égale à 8,25 % et que les vitesses de marche des sujets sont très variables.

Sur la surface verglacée, la vitesse de marche est comparée en fonction de la pente transversale et de la déclivité, afin d'identifier les valeurs de déclivité responsables des variations de la vitesse de marche (Figures 4(3), 4(4) et 4(5)). La comparaison montre que la vitesse de marche tend à diminuer lorsque c'est la pente transversale qui augmente et non la déclivité, à la fois sur la partie passage piéton et sur la partie trottoir. Le taux de diminution de la vitesse de marche lorsque la pente transversale augmente, compris entre 5 % et 8 %, est supérieur au taux de diminution de toute autre plage. Lorsque la pente transversale est supérieure ou égale à 5 %, la vitesse de marche risque d'être fortement touchée. En outre, la vitesse de marche est comparée en fonction de la déclivité combinée de la partie trottoir (Figure 4(6)). Toutefois, la tendance de la pente transversale n'est pas observée sur la figure.

La vitesse de marche moyenne est inférieure lorsque la pente transversale et la déclivité sont toutes deux égales à 0 % que lorsqu'elles sont de 2 %. Etant donné que la phase initiale de l'expérience consistait à marcher sur la surface verglacée plane, il est possible que les sujets n'aient pas été habitués au trottoir expérimental.

(2) Nombre de chutes et d'interruptions de la marche

Il y a eu 9 cas où les sujets ont chuté ou arrêté de marcher sur la surface verglacée pendant l'expérience de marche. Le tableau 10 montre que le risque de chute ou d'interruption de la marche augmente lorsque la pente transversale augmente. A l'inverse, il semble que les chutes et interruptions de la marche soient indépendantes de la déclivité de la chaussée.

(3) Effets de la pente transversale sur le rapport du temps où le sujet reste sur ses deux pieds sur la surface verglacée

On considère que la pente transversale est davantage susceptible d'être responsable des chutes sur la surface verglacée que la déclivité. Les raisons en sont une forte diminution de la vitesse de marche des sujets et une augmentation du nombre de chutes et d'interruptions de la marche lorsque la pente transversale augmente. Le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée a été comparé entre deux conditions de déclivité dont les déclivités combinées sur la chaussée sont égales, afin d'étudier les effets de la pente transversale et de la déclivité sur le comportement lors de la marche. Précisément, le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds (période d'appui double) sur la surface verglacée a été comparé entre GC2 et 4, GC 3 et 7 et GC 6 et 8. (Tableau 11). La figure 5 définit le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée comme le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée par cycle de marche (=deux pas) sur le temps total passé sur la surface verglacée par cycle de marche. Par exemple, ce rapport est de 0 % lorsque le sujet court. Lorsque le sujet a de grandes difficultés pour marcher (titubations), le rapport est proche de 100 %. Si le rapport est plus élevé pour

certaines valeurs de déclivité, cela suggère que le sujet marche dans des conditions difficiles.

Le tableau 11 compare le rapport moyen du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée en fonction de la combinaison des déclivités. Lorsque la pente transversale est supérieure à la déclivité, le rapport est élevé, malgré l'égalité des déclivités combinées (GC2, 3 et 6). L'indépendance de la moyenne de la population a été vérifiée par le test T, d'après les hypothèses suivantes :

Hypothèse H1 : la déclivité combinée de la chaussée de GC2 et 4 est de 5,39 %.

Hypothèse nulle H1₀ : le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée de GC2 est égal à celui de GC4.

Autre hypothèse H1₁ : le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée de GC 2 est supérieur à celui de GC4.

Hypothèse H2 : la déclivité combinée de la chaussée de GC3 et 7 est de 8,25 %.

Hypothèse nulle H2₀ : le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée de GC3 est égal à celui de GC7.

Autre hypothèse H2₁ : le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée de GC3 est supérieur à celui de GC7.

Hypothèse H3 : la déclivité combinée de la chaussée de GC 6 et 8 est de 9,43 %.

Hypothèse nulle H3₀ : le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée de GC6 est égal à celui de GC8.

Autre hypothèse H3₁ : le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée de GC6 est supérieur à celui de GC8.

Le tableau 12 montre que l'hypothèse nulle H4 n'est pas prouvée pour son niveau de signification (1 %). Le tableau confirme également que les effets de la pente transversale sur le comportement lors de la marche des sujets sont supérieurs à ceux de la déclivité car le rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds sur la surface verglacée de GC3 est supérieur à celui de GC7. A l'inverse, les hypothèses nulles H3 et H5 ne sont pas prouvées pour leurs niveaux de signification. Par conséquent, on suppose que les effets de la déclivité sont identiques à ceux de la pente transversale sur la surface où la déclivité combinée est inférieure à 8,25 % ou égale à 9,4 %

Figure 3. Trottoir expérimental à déclivité variable

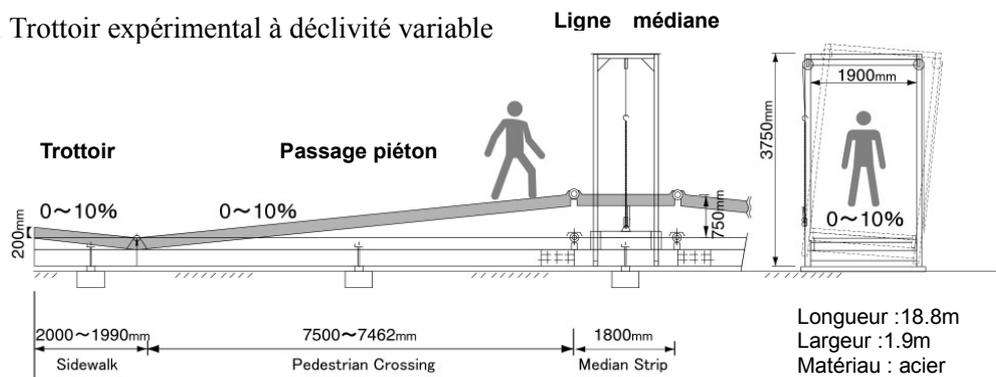
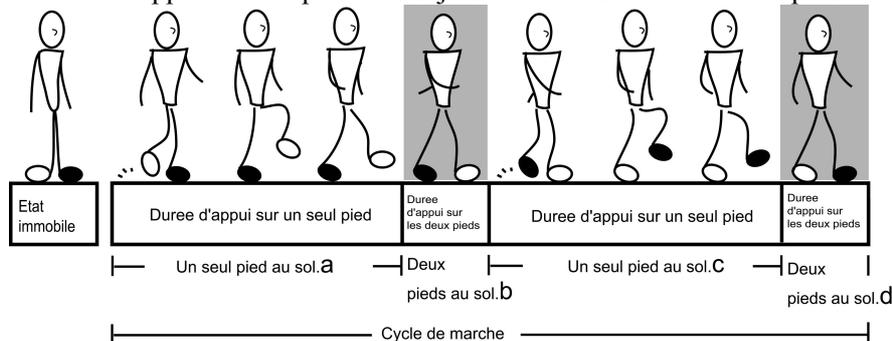


Figure 5. Définition du rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds



$$\text{Rapport du temps où les sujets sont restés sur leurs deux pieds} = [(b/a + b) + (d/c+d)] / 2 * 100$$

Tableau 7. Facteurs étudiés et leurs niveaux

Facteur			Niveau			
Variable explicative	Etat de la surface	Classification	Verglacé/Gissant		Normale	
		Coefficient de frottement	< 0.25		> 0.5	
	Déclivité	Passage	0%	2%	5%	8%
		Trottoir	0%	2%	5%	8%
Pente transversale	Verglacé /Glissant	0%	2%	5%	8%	

Tableau 8. Eléments de mesure

Elément de mesure	
Variable des critères	Vitesse de marche (m/min.)
	Nombre de chutes / interruptions de la marche
	Rapport de la période d'appui double (%)

Tableau 9. Etats de la déclivité

Etat de la déclivité		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Déclivité	Passage	0%	2%	2%	2%	5%	5%	5%	8%	8%	8%
	Trottoir	0%	2%	8%	5%	5%	2%	8%	8%	5%	2%
Pente transversale	P/T	0%	2%	5%	8%	2%	5%	8%	2%	5%	8%
Composé	Passage	0%	2.83%	5.39%	8.25%	5.39%	7.07%	9.43%	8.25%	9.43%	11.31%
	Trottoir	0%	2.83%	9.43%	9.43%	5.39%	5.39%	11.31%	8.25%	7.07%	8.25%

Tableau 10. Nombre de chutes et interruptions de la marche en fonction de la pente transversale et de la déclivité

Pente transversale	Aucun accident	Accident*	Total	Déclivité (Passage)	Aucun accident	Accident*	Total
0%	13	0	13	0%	13	0	13
2%	39	0	39	2%	36	3	39
5%	37	2	39	5%	39	0	39
8%	32	7	39	8%	33	6	39
Total	121	9	130	Total	121	9	130
%	93.1	6.9	100	%	93.1	6.9	100

*Nombre de dérapages suivis de chutes ou d'interruptions de la marche sur trottoir verglacé.

Tableau 11. Taux d'appui sur les deux pieds, en fonction de la déclivité

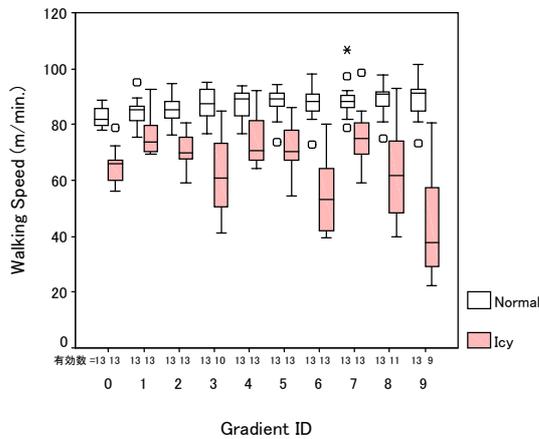
Etat de la déclivité				N	Rapport moyen d'appui sur les deux pieds (%)	Ecart-type	Moyenne de l'erreur-type
	Pente transversale	Déclivité (Passage)	Composé				
2	5%	2%	5.39%	13	23.014	5.087	1.411
4	2%	5%		13	22.339	4.480	1.243
3	8%	2%	8.25%	13	30.470	6.566	1.821
7	2%	8%		13	23.490	6.213	1.723
6	8%	5%	9.43%	13	30.339	4.974	1.380
8	5%	8%		13	27.262	6.233	1.729

Tableau 12. Vérification des différences des moyennes des deux populations par le test T

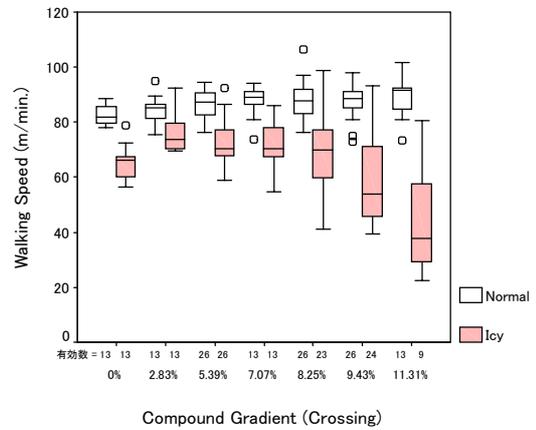
Etat de la déclivité	Test de Levene pour l'égalité des variances		Test t pour l'égalité des moyennes						
	F	Sig.	t	DF	Signification asymptotique (bilatérale)	Différence des moyennes	Différence des écarts-types	Intervalle de confiance de 95% de la moyenne	
								Inférieur	Supérieur
2-4	0.097	0.758	0.359	24	0.723	0.675	1.88	-3.206	4.555
			0.359	23.623	0.723	0.675	1.88	-3.209	4.559
3-7	0.147	0.705	2.784	24	0.010	6.980	2.507	1.806	12.155
			2.784	23.927	0.010	6.980	2.507	1.805	12.156
6-8	0.527	0.475	1.391	24	0.177	3.077	2.212	-1.488	7.642
			1.391	22.875	0.178	3.077	2.212	-1.500	7.654

Figure 4. Variation de la vitesse de marche en fonction de la déclivité et de l'état de la surface

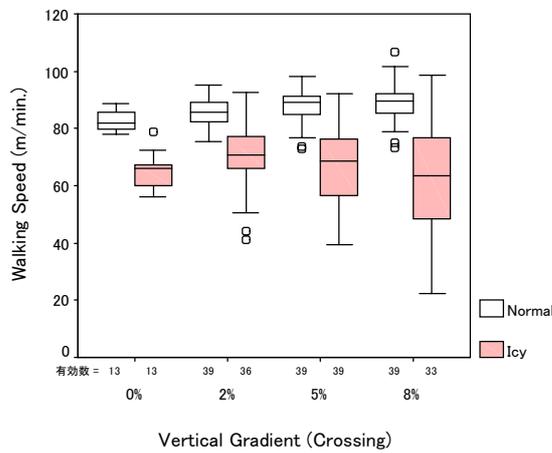
(1) Etat de la déclivité



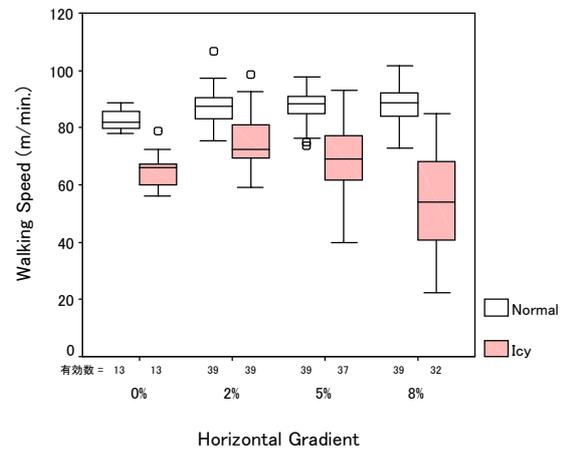
(2) Composé (Passage)



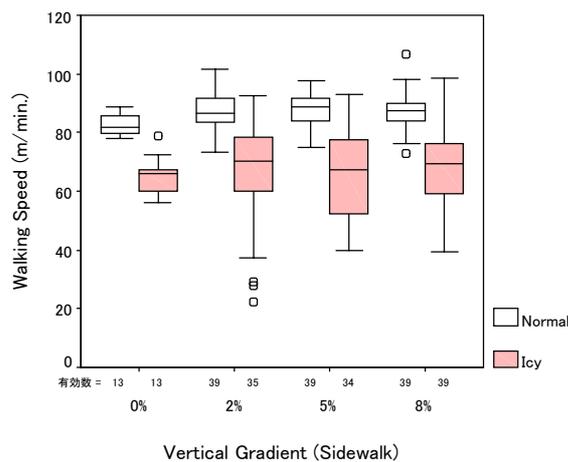
(3) Déclivité (Passage)



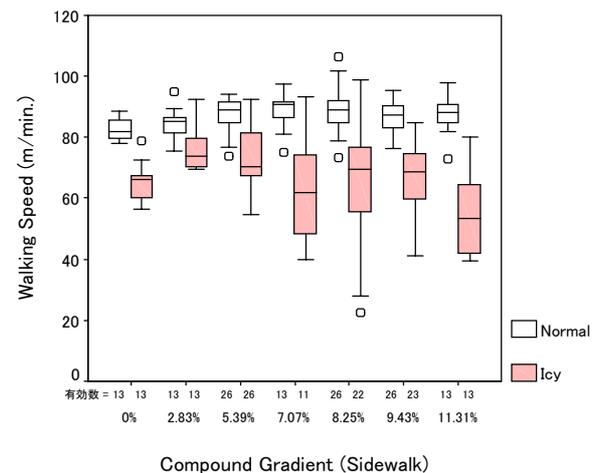
(4) Pente transversale



(5) Déclivité (Trottoir)



(6) Composé (Trottoir)



<Tracé à rectangle et moustaches>

- Ce schéma simplifié est réalisé sur la base de la médiane, du quartile et de la valeur aberrante. Le rectangle se situe dans la fourchette inter-quartiles et contient 50 % des données intéressantes.
- Les lignes (moustaches) rayonnent à partir des rectangles vers les valeurs maximales et minimales, à l'exclusion des valeurs aberrantes, et montrent la plage de répartition.
- Les ronds et astérisques et les lignes horizontales dans les rectangles correspondent respectivement à la valeur aberrante, à la valeur extrême et à la médiane.

5. Conclusions

Les conclusions suivantes ont été tirées des résultats des études qui précèdent.

-En hiver, les accidents par chute se produisent souvent la nuit, dans le quartier de la vie nocturne. Les responsables des accidents ne sont pas uniquement la surface verglacée et les chutes de neige mais aussi l'état d'ébriété des piétons.

-Les accidents par chute ont souvent lieu la journée dans les quartiers où sont concentrés les commerces. On considère que les chutes de piétons interviennent majoritairement dans les quartiers où se trouvent les magasins.

-De nombreux accidents par chute se produisent à la transition entre le passage piéton et le trottoir gelé, ainsi que sur les passages piétons verglacés.

-Lorsque les piétons marchent sur la surface verglacée, leur vitesse de marche et leur façon de marcher sont fortement modifiées par l'augmentation de la pente transversale. Lorsque la déclivité combinée est de 8 à 9 % environ et lorsque la pente transversale est supérieure à la déclivité, la probabilité de conditions de marche difficiles augmente fortement pour les piétons.

-Le risque lié à l'âge n'apparaît pas clairement dans les résultats des études. Les résultats des études concernant le risque lié au sexe permettent de penser que la probabilité d'accident par chute est plus élevée pour l'homme que pour la femme, ce qui est en contradiction avec les études de Merrild et al.⁽¹⁾, Hara et al.⁽³⁾ et Hara et al.⁽⁵⁾ Une raison possible en est que ces études ne se sont pas toujours limitées aux victimes de chutes graves. Par conséquent, bien que le risque de chute soit supérieur pour les hommes, il faut dire que les femmes victimes de chutes sont davantage susceptibles d'être gravement blessées.

Au vu de ces résultats, les propositions suivantes, comprenant le dégagement complet du carrefour et de ses alentours en hiver, sont effectuées pour améliorer l'environnement de déplacement piéton en hiver.

-Les résultats de l'étude vidéo confirment que de nombreux accidents par chute se produisent dans la zone de transition entre le trottoir et le passage piéton aux carrefours. Dans de nombreuses zones de ce type, les pentes sont fortes et inégales et les différences de niveau de déneigement sur le trottoir et le passage piéton sont à l'origine d'une déclivité marquée. Lorsque la déclivité combinée est supérieure ou égale à 8 %, valeur déterminée comme dangereuse expérimentalement, on estime que l'effet dangereux de la pente transversale de la zone de transition est nettement supérieur à celui de la déclivité. Une contre-mesure possible consiste à changer la structure du carrefour pour supprimer les endroits inégaux de la surface et ramener la déclivité combinée de transition à 9 % ou moins. Il faut en particulier réduire le plus possible la pente transversale. Si une modification structurelle est impossible en raison des restrictions d'utilisation du sol, il faut envisager l'installation d'équipements de fonte de la neige comme le chauffage des chaussées.

-Les chutes se produisent également souvent sur les surfaces verglacées des passages piétons. Même lorsque le niveau de neige déblayée est supérieur à la hauteur du trottoir et lorsque des mesures sont prises pour la surface, les piétons chutent souvent aux endroits possédant un faible coefficient de frottement. Dans ces cas, la gestion de grande envergure de la surface des chaussées (application d'antigels) est très importante. Toutefois, il faut étudier des équipements de fonte de la neige, des trottoirs empêchant le gel ou d'autres mesures pour les passages piétons où la surface des routes devient souvent glissante en raison du volume élevé de la circulation et de l'ombre des bâtiments.

-Le risque de chute est très faiblement lié à l'âge. Le risque est plus élevé pour l'homme que pour la femme mais la probabilité de blessure grave est supérieure chez la femme. Il est par conséquent nécessaire de prendre des mesures pour empêcher la chute de toutes les catégories de piétons. Toutefois, les communes des régions froides et enneigées consacrent une forte proportion de leur budget à la viabilité hivernale ; par conséquent, les budgets sont limités pour les mesures faisant appel aux équipements destinées à améliorer l'environnement de déplacement piéton. Le choix et l'application de ces mesures doivent par conséquent tenir compte de la totalité des aspects, comme l'utilisation du sol, le volume de piétons, le nombre d'accidents de la circulation et les coûts de construction, d'entretien et de gestion. L'amélioration des aspects indépendants des équipements est elle aussi impérative. Par exemple, les piétons doivent prendre des mesures pour éviter les chutes en changeant leur manière de marcher et leurs moyens de transport en fonction de leurs capacités physiques.

Reference

- (1) Merrild,U. and Bak,S. : An Excess of Pedestrian Injuries in Ice Conditions : A High-Risk Fracture Group—Elderly Women, Accident Analysis & Prevention, Vol.15.No.1, pp.41-48. 1983.
- (2) Oberg,G :Single Accidents among Pedestrians and Cyclists in Sweden, Xth PIARC International Winter Road Congress Technical Report, Vol.3, pp.677-685. 1998.
- (3) Hara.F,Kawabata.K,Kobayashi.H : Study of Pedestrian Injuries in Winter in Sapporo, 6th Cold Region Technology Conference '90, CTC900407, pp151-157, 1990.
- (4) Nihonyanagi and Kawaguchi : Falling Accidents of Pedestrians on the Very Slippery Frozen Surface : Rescue Report by the Fire Bureau, 39th Hokkaido Development Bureau Technical Research Presentation, 1995
- (5) Hara, Akitaya, Suda, et al. : Survey on Women's Awareness of Walking in Winter, Research on Enhancement of Safety of Winter Life in the Cold, Snowy RegionS, pp. 1-6. 1999
- (6) Mano,Y (Editor) : The fall in aged people --- its cause and its prevention, Ishiyaku Publishers, Inc. 1999.