

GESTION DE LA NEIGE ET DU VERGLAS DANS L'HIMALAYA

S.S.Porwal
Ingénieur en Chef (SG), HQ DGBR, Directeur (Res)
Seema Sadak Bhawan
Ring Road, Delhi Cantt.
New Delhi. -110010, INDE
Tél. 91-011-5656917 Fax 91-011-5696026
Adresse Email : ssporwal@hotmail.com

1. Résumé

La gestion de la neige et du verglas dans l'Himalaya est une véritable gageure. C'est un travail risqué, dangereux et fastidieux soumis aux risques les plus sérieux auxquels un être humain peut être confronté, en raison des conditions du terrain et des conditions géologiques et climatiques. L'Himalaya est la chaîne montagneuse la plus jeune, la plus haute et géologiquement la plus active du monde et son climat varie de sub-tropical à polaire. Ces régions reçoivent des pluies abondantes et des chutes de neige importantes (parmi les plus hautes du monde), à savoir plus de 10 mètres. Dans l'Himalaya, en raison des chutes de neige très importantes et intenses sur une courte durée (3 mois environ), des avalanches peuvent se déclencher 4 ou 5 fois sur une même pente, ce qui est une fréquence exceptionnellement élevée si l'on considère l'activité des avalanches dans les Alpes et dans les Montagnes Rocheuses. Des avalanches innombrables se produisent dans l'Himalaya (plus d'un million chaque année). De fait, on considère que les montagnes himalayennes connaissent les avalanches les plus dévastatrices du monde. Le développement général des régions montagneuses conduisant à une augmentation de l'habitat, de l'expansion, de l'utilisation des routes de montagne et à un agrandissement des villages des montagnes himalayennes, a nécessité une gestion adéquate de la neige et du verglas. Les aspirations de la population locale se sont élevées en raison des progrès technologiques et d'un accroissement des interactions avec d'autres parties du monde. L'objectif de ce document est de présenter la méthode actuelle de gestion de la neige et du verglas dans l'Himalaya indien, les spécifications actuelles qui s'appliquent aux revêtements routiers, aux structures permanentes, les problèmes rencontrés pour le déneigement et la construction et l'entretien des routes. Pour venir à bout des défauts actuels, il y a un besoin urgent de développer une technologie intégrée adaptée à ce terrain, dans le cadre des moyens limités disponibles, ainsi que d'échanger des expériences avec d'autres experts dans ce domaine, pour en bénéficier mutuellement et améliorer ultérieurement la gestion de la neige et du verglas dans l'Himalaya.

Pour la construction et l'entretien des routes enneigées, les ingénieurs de terrain sont actuellement confrontés à toute une série de problèmes qui nécessitent une attention immédiate. Une gestion intégrée de la neige et du verglas est donc de la plus grande importance pour les ingénieurs de terrain. Ce document décrit principalement les problèmes pratiques rencontrés et leurs aspects connexes.

Peu de recherches ont été effectuées dans ce domaine et les expériences passées ne sont pas bien documentées. A l'heure actuelle, les ingénieurs de terrain responsables de la construction, du déneigement et de l'entretien des routes utilisent de manière judicieuse leurs connaissances basées sur leurs observations et expériences.

2. Terrain, géologie et climat

L'Himalaya est la chaîne montagneuse la plus jeune, la plus haute et géologiquement la plus active du monde. L'imposante chaîne himalayenne, la plus longue du monde, s'étend sur 2 500 km d'ouest en est et sur une largeur de 400 km de large, du nœud du Pamir en Europe jusqu'à la frontière entre l'Inde et Myanmar. Le terrain de l'Himalaya est l'un des plus difficiles du monde en ce qui concerne la construction et l'entretien des routes de montagne. C'est un des plus grands défis auxquels sont confrontés les ingénieurs de construction des routes car ceci se fait également avec des ressources limitées. Les montagnes de l'Himalaya possèdent une magie qui réveille des sentiments profonds dans le cœur de tous les habitants de cette région. Chez les Indiens, ces sentiments se sont transmis de génération en génération au cours des siècles, comme s'ils étaient liés aux gènes de notre être spirituel, et nous considérons ces montagnes comme la Demeure des Dieux. La plus grande partie de l'Inde du Nord connaîtrait de graves pénuries d'eau si le puissant Himalaya n'existait pas.

Les routes de montagne de l'ouest et de l'est de l'Himalaya passent à une altitude allant de 2 500 m à plus de 5 000 m. Le col de *Khardungla*, le plus haut du monde, est également situé à une altitude de 5 640 m dans l'Himalaya occidental. Les routes enneigées sont au-dessus de la zone de végétation et dans une région très peu peuplée. Le sol de cette région est principalement d'origine glaciaire et il est constitué de roche métamorphique, stratifiée et schisteuse qui se délite à des conditions climatiques extrêmes. Les parties recouvertes de matières fluvio-glaciaires sont très instables et sujettes à des glissements de terrain.

Bien que ces régions soient proches de l'équateur quant à leur latitude, en raison de l'altitude elles sont plus proches des conditions polaires, où les températures hivernales peuvent atteindre -35°C à -50°C selon l'altitude et l'endroit. En été, les températures diurnes peuvent monter à 30°C et des vents de plus de 80 km/h sont courants, en particulier dans les vallées étroites et près des cols élevés. L'effet glacial du vent en hiver peut être dévastateur et rendre ainsi les opérations de déneigement très difficiles.

Les températures moyennes des cinq dernières années de quelques endroits accessibles de la zone climatique de l'Himalaya moyen sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Températures moyennes minimales/maximales en degrés Celsius de la zone climatique de l'Himalaya moyen

Mois	Min Max	95-96	96-97	97-98	98-99	99-00	Moyenne
Novembre	Min (-)	-21	-20	-23	-20	-18	-20,4
	Max	3	2	3	3	3	2,8
Décembre	Min (-)	-25	-22	-30	-26	-23	-26,6
	Max	4	2	2	4	3	3,0
Janvier	Min (-)	-30	-32	-28	-29	-33	-30,4
	Max	2	2	0	2	0	1,2
Février	Min (-)	-27	-28	-27	-27	-37	-29,2
	Max	5	8	4	4	4	5,8
Mars	Min (-)	-24	-23	-25	-25	-37	-26,8
	Max	14	13	13	13	17	14,0
Avril	Min (-)	-18	-19	-24	-19	-29	-21,8
	Max	16	22	17	17	25	19,4

La saison des chutes de neige commence avec le début de l'hiver et par conséquent, les premières chutes de neige aux plus hautes altitudes de l'Himalaya peuvent survenir vers la fin septembre et continuer jusqu'à mi-avril. On peut constater au fur et à mesure de l'avancement de l'hiver une accumulation de neige, qui s'étend également vers le Grand Himalaya et même sur ses chaînes plus basses ; pendant cette période, la neige s'accumule et s'étend de plus en plus rapidement. La fonte des neiges, au moins dans les chaînes himalayennes les plus basses et dans la région de latitude 30° à 40° Nord peut commencer en avril et se poursuivre jusqu'en juin.

Le tableau ci-dessous présente la physionomie détaillée de la fréquence et de la répartition des chutes de neige et leur intensité dans une région particulière de l'ouest himalayen.

Moyenne, fréquence et répartition des chutes et des tempêtes de neige

Mois	Moyenne fréquence répartition des chutes de neige en 24 heures			Nombre moyen de tempêtes	Nombre moyen de tempêtes par jour	Intensité moyenne en cm/heure	Intensité moyenne entre les tempêtes en jours
	20-40	41-60	60				
					2	--	--
Oct	--	1	--	1	5	1,80	7 à 10
Nov	1	--	1	2	8	2,60	2 à 10
Déc	1	1	1	3	9	2,60	2 à 6
Janv	1	1	2	4	10	2,50	3 à 5
Fév	1	2	2	5	12	2,50	3 à 5
Mars	1	2	--	5	5	2,50	2 à 10
Avril	1	1	--	2	2	1,50	--

On peut en tirer les déductions suivantes :

- Bien que la plus grande partie des chutes de neige se concentre de décembre à mars, on ne peut pourtant pas exclure les chutes de neige précoces et tardives en octobre/novembre et avril/mai.
- Chaque grande tempête est censée déposer près de 190 cm de neige tandis que les autres tempêtes peuvent en déposer jusqu'à 40 cm.

- Alors que les grandes tempêtes de décembre à mars durent généralement trois ou quatre jours, les tempêtes pendant les autres mois ne durent en général que deux ou trois jours. Cependant, des tempêtes de plus d'une semaine ne sont pas exceptionnelles.

3. Types de problèmes rencontrés par les ingénieurs de la voirie

Il existe dans la partie indienne de l'Himalaya 30 000 km environ de routes, dont 5 000 km environ se trouvent dans des régions enneigées et 90 % environ des routes sont à voie unique.

Les ingénieurs rencontrent en général les problèmes suivants pour l'entretien et le déneigement :

- Décider de la date/heure du début d'une opération de déneigement.
- La base de données concernant la planification, la construction, l'entretien et le déneigement des routes dans les régions enneigées n'est pas adaptée.
- Des directives appropriées pour la construction et l'entretien et le déneigement dans les régions enneigées sont encore à formuler.
- Il a été prouvé que les routes sont très abîmées sur environ 25 % de leur longueur à cause du déneigement. Après chaque opération de déneigement, des réparations importantes et coûteuses sont nécessaires sur ces sections. Une théorie bien documentée des indices de dégel pour la région himalayenne reste à développer.
- Les revêtements des routes subissent de graves dommages à cause du déplacement des véhicules à chenilles, pendant les opérations de déneigement et de dégagement des glissements de terrain. Les plus grands dommages ont été constatés sur les virages en zigzag et sur les courbes raides.
- La perte de ductilité du bitume en raison des températures inférieures à zéro diminue la durée de vie des revêtements bitumineux. Le cycle de vie normal d'un revêtement est de 5 ans, mais des dommages importants sont observés après 2 à 3 années.
- Des dommages sévères sont causés au revêtement de la route et aux autres structures permanentes telles que murs de retenue, parapets, circuits de drainage transversaux, en raison des grandes variations de températures diurnes, du dégel et d'importants suintements d'eau. Ce problème est plus grave sur quelques kilomètres de chaque côté des cols élevés et sur les portions de route dont la base est constituée de terre et de limons.
- Les opérations de déneigement et l'entretien des routes sont des difficultés bien connues en raison des dangers du terrain et des conditions climatiques très hostiles. En l'absence d'une technologie et d'équipements améliorés, les opérations de déneigement sont très risquées.
- En raison de l'absence de terrains et de conditions de travail similaires dans d'autres parties du monde, aucun échange d'idées fructueux n'a pu se faire jusqu'à présent.

Avalanches. Les avalanches sont le plus grand danger pendant les opérations de déneigement. Comme il a déjà été indiqué, nous avons plus de 100 000 avalanches actives dans cette région. L'étendue du problème peut être évaluée par le fait que la plupart des routes passent dans des

avalanches actives et dans des zones en formation/moyennes ; les données d'une section de 75 km d'une route de l'ouest himalayen sont présentées ci-dessous :

Données relatives aux avalanches pour une section de route de 75 km

N° Sl.	Secteur/ section de la route	Longueur de la section	Nombre d'avalanches	Longueur totale recouverte par les avalanches en mètres	% de longueur dans le secteur
1	A	25,50	55	10 200	40
2	B	18,50	33	14 600	80
3	C	31,00	21	5 000	25
	TOTAL	75,00	109	29 300	39

Les résultats quantitatifs et qualitatifs des données ci-dessus peuvent être résumés comme suit :

- La route subit 109 avalanches sur une longueur de 75 km.
- La longueur totale de la section de route recouverte par les avalanches est d'environ 29,8 km, soit environ 39 % de la longueur totale de 75 km prise en compte.
- La fréquence d'avalanches observée en hiver est de 4 à 6 fois.

A partir de ce qui précède, on peut facilement imaginer la difficulté et le risque des opérations de déneigement dans l'Himalaya occidental.

Formation de verglas. Le verglas est l'un des principaux problèmes rencontrés pour l'entretien des routes et le déneigement. En raison des grandes variations des températures diurnes, la durée de l'ensoleillement est encore plus importante en début et en fin d'hiver. Les informations sur la durée de l'ensoleillement pour l'année 1999 sont présentées ci-dessous :

Durée de l'ensoleillement

S.N°	Mois	Durée en heures et minutes			
		De		à	
		Heures	Minutes	Heures	Minutes
1	Nov	3	00	9	00
2	Déc	3	00	8	00
3	Janv	1	37	4	27
4	Fév	2	23	7	20
5	Mars	3	16	6	52
6	Avril	5	18	9	02

Dégel printanier. Pendant la période de dégel, l'eau en excès libérée par la fonte de la neige ou de la glace ne peut pas s'écouler dans les fossés latéraux encore gelés et elle se répand très rapidement sur la chaussée à cause de la forte pente des routes de montagne, ce qui provoque une érosion et de graves dommages à la chaussée. En général, la plupart des routes de montagne sont à voie unique et, en raison des conditions géologiques instables, des débris tombent en permanence dans les fossés et il est très difficile d'entretenir le système de drainage, d'où il résulte que la route elle-même se transforme en conduite d'eau. Il a été observé que les sols sensibles au gel dans lesquels une séparation de la glace s'est produite sont fragilisés pendant les périodes de dégel, ce qui correspond à une diminution de la capacité de charge car la fonte de la glace libère dans le sol de grandes quantités d'eau. La

circulation pendant la période de ramollissement peut provoquer un remodelage du sol, accompagné d'une diminution supplémentaire de la solidité du sous-sol. Le degré de réduction de la capacité porteuse du revêtement pendant une période de dégel et la longueur de la période pendant laquelle cette capacité est diminuée dépendent du type de sol, des conditions de température en périodes de gel et de dégel, du volume et du type de circulation pendant les périodes de dégel, de la présence d'eau en périodes de gel et de dégel et des conditions de drainage.

Congères. Les amoncellements de neige importants sont très fréquents dans une grande partie de la région himalayenne. Les vents violents qui soufflent sur de nombreuses sections de route droites provoquent le dépôt sur une petite partie de la route de grandes quantités de neige venant des pentes adjacentes ; elles s'ajoutent à une couche exceptionnellement haute en raison des amoncellements de neige, en provoquant une densification de la neige. Ceci entraîne une plus grande sollicitation du matériel et des efforts supplémentaires pour le déneigement.

4. Pratiques actuelles de gestion de la neige et du verglas en Inde

Sur les routes les plus hautes, en particulier dans l'Himalaya occidental où, en raison de l'intensité et de la périodicité des chutes de neige combinées à une activité avalancheuse et à des problèmes de verglas, il est pratiquement impossible d'effectuer un déneigement continu, on ne peut que laisser la neige s'accumuler pendant les mois d'hiver (4 à 6 mois) et la route doit donc être fermée pendant cette période. La hauteur de la neige compacte sur certaines sections de la route peut atteindre 10 à 12 mètres et sur les principaux sites d'avalanche autour des cols de **Zozila** et **Rohtang**, elle peut dépasser 25 mètres. On parle alors de déneigement d'été. On utilise en Inde les termes de *snow clearance* pour les opérations de déneigement¹. Certaines routes importantes au-dessus de 5 000 mètres restent ouvertes grâce à un déneigement continu à l'aide du matériel approprié. On parle alors de déneigement d'hiver. Il existe en Inde deux types d'opération de déneigement, le déneigement d'hiver et celui d'été.

Organisation. Le déneigement d'été se fait principalement avec des machines, une main d'œuvre appropriée étant essentielle pour les différentes tâches connexes telles que l'élimination du verglas, l'installation de ponts modulaires, le transport du carburant et des repas, les réparations et l'entretien du matériel, le dynamitage des rochers tombés sur la route à cause des avalanches et de l'eau. La localisation et le nombre de sections à déneiger sont décidés à l'avance, car les opérations de déneigement nécessitent une planification préalable et une préparation très soignée. Une planification soignée et détaillée de l'utilisation des matériels et de la main d'œuvre pendant les tempêtes de neige et les avalanches est nécessaire pour la réussite des opérations. Il est absolument essentiel de placer le type de matériel de déneigement approprié aux endroits adéquats, en se basant sur l'expérience passée et sur leurs conditions mécaniques.

¹ NdT : Le mot "déneigement" a deux traductions en anglais : snow removal ou snow clearing.

Méthodes de déneigement. Le déneigement est un travail particulièrement difficile et dangereux, car il est effectué dans des conditions climatiques très défavorables, avec des ressources limitées et peu de financements. Les personnes choisies pour ce travail sont en général très motivées, physiquement robustes, vives d'esprit et jeunes de préférence (moins de 45 ans). Le courage des équipes de déneigement peut être décrit par la phrase célèbre de Jean Paul Richter "Une personne peureuse est effrayée avant le danger, une personne lâche pendant et une personne courageuse après." Toutes les dispositions administratives pour leur séjour sur le site, leur sécurité, leur couverture médicale, les communications, les secours, etc. sont planifiées. En raison des conditions climatiques extrêmes et de l'altitude, l'efficacité des hommes et des machines est réduite de 30 à 40 %. On a observé que l'engin le plus efficace pour dégager la neige accumulée en hiver est le bulldozer, en raison de la forte densité de la neige. C'est un matériel universel qui dégage tous les types de neige. Les fraises à neige, qui sont utilisées dans d'autres pays, ne sont pas très utiles à cause des rochers transportés par les avalanches, de la formation de glace dure sur de nombreuses lignes droites et de l'absence de pièces détachées en temps opportun. Les fraises à neige sont utiles pour les tranchées et les amas de neige de 2 à 3 mètres sans rochers ni pierres. En général, un groupe de déneigement se compose de :

Composition d'une équipe de déneigement

N° S.	Description	Nombre
1	Bulldozer	2
2	Fraise à neige	1
3	Véhicule lourd 4x4	2
4	Véhicule léger 4x4	1
5	Equipe de réparation du matériel	1
6	Equipe médicale et de secours	1
7	Equipe Communication	1
8	Responsable et contremaîtres	4
9	Main d'œuvre qualifiée	10
10	Main d'œuvre non qualifiée	30

La plupart des avalanches contiennent des rochers et des pierres et par conséquent, la fraise à neige seule ne constitue pas un équipement complet dans notre contexte. Le bulldozer crée un dénivelé dans la neige de l'avalanche en réduisant la hauteur à 3 mètres maximum, puis les fraises dégagent la neige.

Avalanches. La plupart des routes situées en hauteur dans l'Himalaya occidental passent dans des zones sujettes aux avalanches. Une connaissance approfondie et des informations sur le type d'avalanches, la fréquence, l'emplacement, la magnitude, l'intensité, la surface recouverte et la période de retour sont nécessaires pour pouvoir traiter le problème des avalanches. Un institut de recherche mène depuis plus de 30 ans des recherches dans le domaine de la neige et des avalanches. Des cartes d'avalanches ont été réalisées pour certaines routes et sont en préparation pour les autres routes. A

l'heure actuelle, nous avons besoin d'une interaction fructueuse entre les scientifiques en laboratoire et les ingénieurs de terrain. Bien qu'il existe des techniques pour différentes structures de lutte telles que tunnels à neige, murs de protection, barrières de détournement, rampes d'avalanches et retenues d'avalanches, elles ne peuvent pas être mises en place faute de moyens. Les opérations de déneigement journalier coûtent moins cher, néanmoins, des mesures de lutte permanentes seront économiques à long terme.

Le déclenchement des avalanches à l'aide d'explosifs avant les opérations de déneigement a été expérimenté en de nombreux endroits pour réduire les risques pour les opérateurs comme pour le matériel. Ceci aide aussi à limiter la multiplication des efforts, puisqu'il est ensuite difficile² de nettoyer les débris. Des expériences complémentaires dans ce domaine sont en cours actuellement pour améliorer nos connaissances à ce sujet.

Certaines structures de lutte ont été conçues et installées sur un site de la Route Nationale.

Filets à neige. Deux types de filets à neige ont été mis en place. Le premier utilise un support à charnières et le second des joints à rotule. Le filet à neige avec support à charnière est adapté aux pentes ouvertes (unidirectionnelles) et le filet modifié avec rotule convient pour les terrains en pente multidirectionnelle.

Pont à neige. Le pont à neige est une structure de support rigide. La surface de support de la structure du pont est composée de chevrons horizontaux soutenus par la colonne verticale et le support arrière. Vues de face, ces structures ressemblent à des ponts.

Toit anti-corniche. Dans l'Himalaya, les amoncellements de neige très importants créent d'énormes corniches de neige qui, en se brisant, déclenchent des avalanches. Le toit anti-corniche est une structure de lutte contre les corniches ; il fonctionne sur le principe de l'effet de hasard. Le toit anti-corniche sert à accroître la vitesse du vent et à rendre la direction du vent parallèle à la pente sous le vent ; avec l'accélération du vent et la modification de sa direction, la capacité du vent à transporter de la neige est considérablement augmentée au point de sortie du toit. Ceci empêche la neige de se déposer sur le côté sous le vent de la crête sur 20 à 50 mètres, en répartissant la masse de neige sur le bas de la pente de l'arête. On a observé que chaque toit anti-corniche a évité la formation de corniches sur une longueur de 25 à 50 mètres sur les crêtes grâce à son effet de succion. Des corniches de 4 à 5 mètres se sont formées à d'autres endroits où les toits n'étaient pas installés.

Libération contrôlée des avalanches à l'aide d'explosifs. Chaque année en hiver, les masses de neige importantes provenant d'une zone de formation d'une avalanche représentent des risques graves pour les vies humaines, pour les véhicules et pour les autres biens. Pour atténuer le danger des avalanches, un institut de recherche a mis au point un dispositif mécanique qui a été modifié pour être adapté aux conditions rencontrées dans l'Himalaya indien.

² Ndt : "difficult" dans le texte d'origine. Mis à la place de easy ?

Remblais en terre. Ces structures sont conçues pour ralentir, infléchir ou arrêter les avalanches dans leur zone de passage. Elles sont de taille massive et édifiées sur des pentes supérieures à 20°. Le côté amont de ces structures est généralement recouvert de béton ou de maçonnerie pour éviter la corrosion. Des remblais en terre ont été installés à de nombreux endroits.

Tunnel à neige. Des tunnels à neige ont été construits en de nombreux endroits.

Boisement. Les troncs d'arbre, comme des structures de soutien, modifient le terrain, fournissent un ancrage à la neige et cassent la continuité de la plaque. La forêt supprime presque la formation de congères et fournit une masse de neige uniforme et stable. Le boisement est donc une méthode efficace pour diminuer les risques d'avalanches.

Amoncellements de neige. La formation de gros amas de neige est fréquente dans la plupart des régions en février et mars et, à certaines altitudes, au-dessus de 4 500 mètres, elle peut se poursuivre jusqu'en mai. En général, les amas de neige venant des crêtes et des zones plus hautes s'accumulent sur les routes qui sont habituellement dans les vallées ou sur les pentes plus basses. Ils s'ajoutent aux couches de neige très hautes, ce qui provoque une densification de la neige et entraîne une plus grande sollicitation du matériel et des efforts supplémentaires pour le déneigement. La formation de congères peut être limitée à l'aide de barrières à neige, qui ont été installées à titre expérimental pour vérifier leur efficacité. Les amoncellements de neige sont un facteur majeur des efforts supplémentaires et des retards dans les opérations de déneigement.

Formation de verglas. La formation de verglas est l'un des principaux problèmes rencontrés pendant le déneigement et l'entretien des routes. Le problème est d'autant plus grave que la plupart des routes ont été construites il y a plus de quarante ans. Pendant la construction, en raison du manque de temps et de moyens financiers, aucune planification adéquate n'a pu être faite, ce qui a entraîné des formations de verglas importantes sur les routes enneigées ou inondées. Les variations de températures diurnes sont importantes et plus encore en début et en fin d'hiver. En général, les revêtements des routes sont de nature souple, ce qui permet à l'eau d'arriver à la surface et d'en sortir par capillarité. C'est un autre problème majeur rencontré par les ingénieurs de la voirie pour le déneigement et l'entretien, car la plupart de nos routes ont un revêtement souple et la chaussée est ondulée. Pendant la période mentionnée ci-dessus, une fine couche de glace se forme dans et sur la chaussée en bitume. Il n'est pas possible de briser ce film de glace avec une machine, on ne peut le faire que manuellement, ce qui provoque de gros dommages aux chaussées. A titre de précaution, en cas de verglas important, tous les véhicules doivent être équipés de chaînes.

A l'heure actuelle, l'épandage de sel ordinaire, d'urée, de sable moyen, de sciure mélangée à du sable et le cassage manuel sont des méthodes utilisées avec un succès limité.

5. Entretien des routes après le déneigement

C'est une des tâches les plus difficiles pour les ingénieurs de la voirie dans l'Himalaya. Après le déneigement, les chaussées et les autres structures présentent des dommages énormes dus au dégel,

aux bulldozers utilisés pour le déneigement, à l'écoulement rapide des eaux fondues au centre de la route, aux glissements de terrain, aux zones détrempées et au manque de structures permanentes. Nous ne possédons pas à l'heure actuelle de base de données adéquate et de spécifications appropriées pour les chaussées et structures permanentes dans les régions enneigées. Les spécifications indiquées pour les autres terrains normaux sont respectées. En l'absence de spécifications inappropriées³, on a observé des dommages importants sur les quelques kilomètres des sections droites des routes passant par des cols élevés, à certains endroits il n'y a plus de revêtement du tout et à d'autres endroits, les dommages de la chaussée représentent de 30 à 40 % de la surface du revêtement. L'absence de murs de retenue et de circuits de drainage transversaux est également un élément très courant, plus particulièrement dans les zones à sol cohésif. La réparation des sections de route endommagées est très difficile et coûteuse. Par conséquent, c'est actuellement un l'un des plus grands problèmes des régions enneigées pour les ingénieurs de la voirie. Il y a un besoin urgent de revoir les spécifications.

6. Développement d'une technologie intégrée adaptée au terrain himalayen

De nombreux instituts de recherche en Inde travaillent sur des recherches et études des routes, de la neige et des avalanches mais jusqu'à présent, ces instituts n'ont effectué que peu de recherches pour les routes enneigées. De même, il existe un besoin urgent d'intégrer les études sur la neige et les avalanches aux impératifs des ingénieurs de la voirie. En conséquence, une étroite coordination entre les départements de recherche routière, les groupes d'étude sur la neige et les avalanches et les ingénieurs de la voirie pour développer une technologie et des spécifications appropriées, adaptées au terrain himalayen, est l'impératif actuel.

Les connaissances disponibles et l'expérience accumulée dans ce domaine dans d'autres parties du monde peuvent également être échangées, avec des avantages mutuels. Pour le moment, les interactions à cet égard n'ont pas atteint le niveau souhaité en raison de différentes contraintes. Le Congrès International de la Viabilité Hivernale de 2002 à Sapporo au Japon constituera la plateforme la plus appropriée pour ces échanges de connaissances mutuels.

Les principaux domaines/secteurs nécessitant une attention immédiate pour améliorer les méthodes et les technologies peuvent être résumés comme suit :

Planification et conception :

- Développement de nouvelles spécifications pour les revêtements et les autres structures des routes ;
- Base de données adaptée pour la planification, la construction et l'entretien des routes enneigées ;
- Tracé adapté des routes de manière à minimiser les problèmes dus à la neige et à la glace.

³ Ndt : "inadequate" dans le texte d'origine.

Construction, entretien et déneigement :

- Amélioration, automatisation et utilisation efficace de machines adaptées à la construction, à l'entretien et au déneigement dans la région himalayenne ;
- Assistance technologique pour la gestion des routes hivernales et méthodes d'échange des dernières connaissances et recherches ;
- Utilisation d'énergie naturelle pour la gestion de la neige et du verglas ;
- Amélioration des méthodes d'élimination du verglas ;
- Gestion de l'eau et ouverture précoce des routes dans la région himalayenne à l'aide de systèmes GPS ;
- Mesures de lutte contre la neige respectant l'environnement.

7. Conclusion

Il est bien connu que l'Himalaya est la chaîne de montagnes la plus jeune et géologiquement la plus active du monde et que les problèmes sont immenses. Des tentatives sont faites pour identifier les différents types de problèmes qui nécessitent une attention immédiate et une étroite coopération avec les autres pays et avec les experts dans ce domaine. Généralement parlant, ces problèmes peuvent être récapitulés sous les chapitres de "Planification et conception" et "Construction, entretien et déneigement".

Dans les documents actuels, les problèmes liés à la gestion de la neige et du verglas dans la région himalayenne sont limités aux routes uniquement et peuvent être résumés comme suit :

- Types de problèmes rencontrés par les ingénieurs de la voirie dans la région himalayenne ;
- Méthode actuelle de gestion de la neige et du verglas en Inde ;
- Nécessité de développer des spécifications appropriées pour les routes et une technologie intégrée adaptée au terrain himalayen.

Pour améliorer les conditions de vie, développer une économie durable et d'autres activités dans la partie indienne de l'Himalaya, il y a un besoin urgent de partager et d'échanger les connaissances sur des recherches innovantes et des informations sur les technologies marquantes disponibles dans d'autres pays en pointe.

8. Remerciements

L'auteur adresse tous ses remerciements au Col P. Mathur Dy, directeur de la SASE, pour ses précieux commentaires et sa révision de ce document. Il remercie également M. Ses Ram Chauhan et les autres membres des équipes de SASE et BRO qui l'ont aidé dans l'élaboration de ce document.

9. Références

- Hill Road Manual IRC:SP:48-1998.
- Highway Engineering Handbook, Kenneth B, Woods