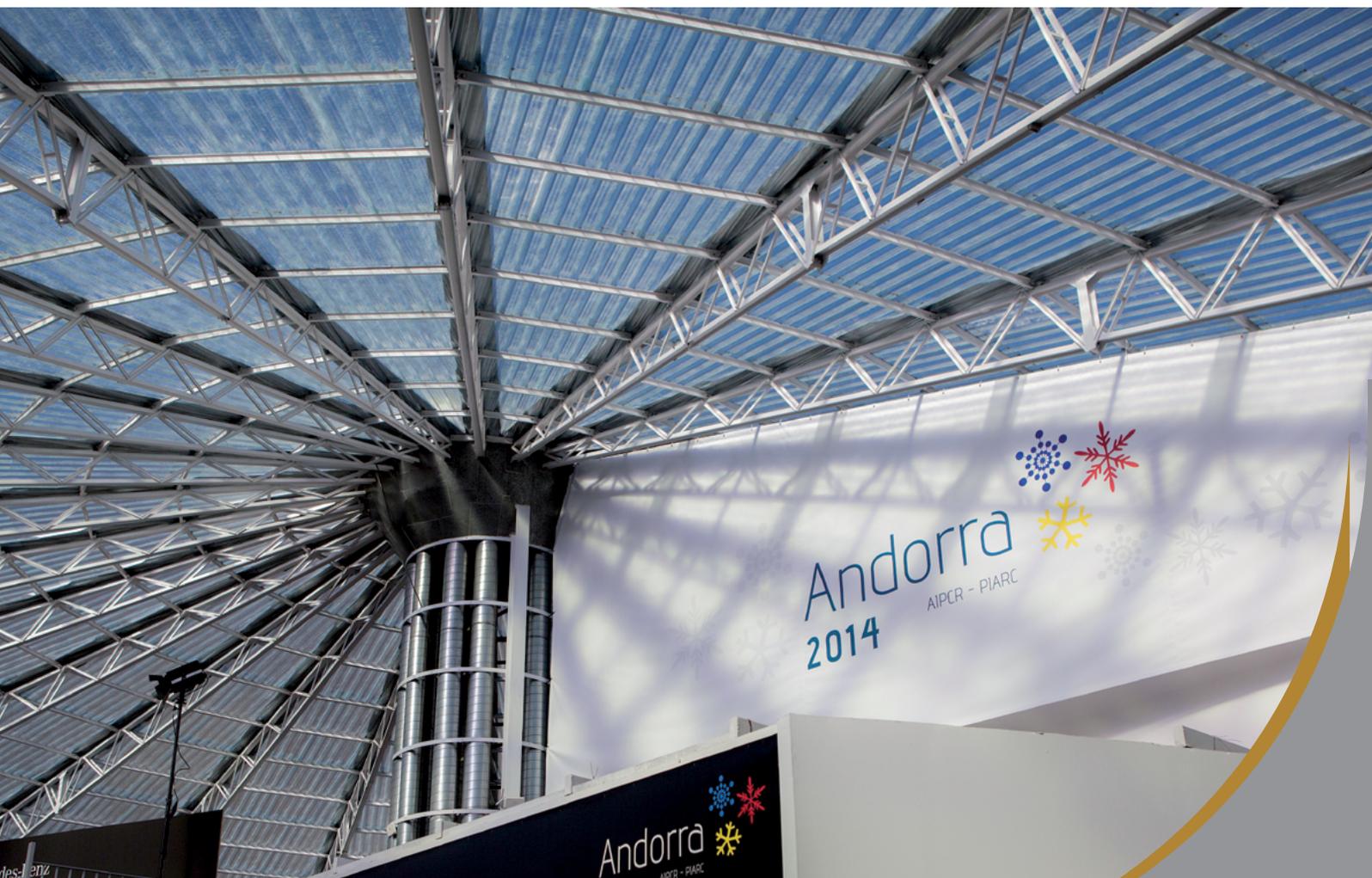


# RAPPORT GÉNÉRAL DU XIV<sup>e</sup> CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA VIABILITÉ HIVERNALE EN ANDORRE

Rapport général préparé par  
MM. **Didier GILOPPÉ** (France) (1), **Ignacio DEL REY** (Espagne) (2), **Satoshi KASHIMA** (Japon) (3),  
respectivement Présidents des Comités techniques 2.4, 3.3 et 4.3  
et **Pierre GILLES** (Belgique) (4), membre du Comité technique 4.3,  
qui remercient les présidents et coprésidents de séance dont le concours a permis de finaliser ce rapport général.



Illustrations © Jordi Pujol et Sergi Pérez



Le thème général du congrès, « *Concilier sécurité routière et développement durable avec changement climatique et crise économique* », nous rappelle cette nécessité : dès maintenant, et de plus en plus, il nous faudra intégrer des paramètres fluctuants de toute nature pour assurer sécurité des usagers et fluidité du trafic et répondre aux exigences d'un développement durable.

Pour la première fois, trois comités techniques ont contribué au programme technique de ce congrès : le Comité technique 2.4 « *Viabilité hivernale* », tout naturellement, mais aussi les Comités techniques 3.3 « *Exploitation des tunnels routiers* » et 4.3 « *Ponts routiers* », permettant de couvrir une palette de sujets liés à la viabilité hivernale plus vaste encore qu'auparavant.

Ces trois comités ont évalué les résumés puis les communications complètes, structuré et animé les séances techniques du congrès. Au total, ce sont 150 communications orales et 177 présentations d'affiches, issues de 33 pays, qui ont illustré cette problématique, subdivisée en huit thèmes, que ce rapport évoque tour à tour.

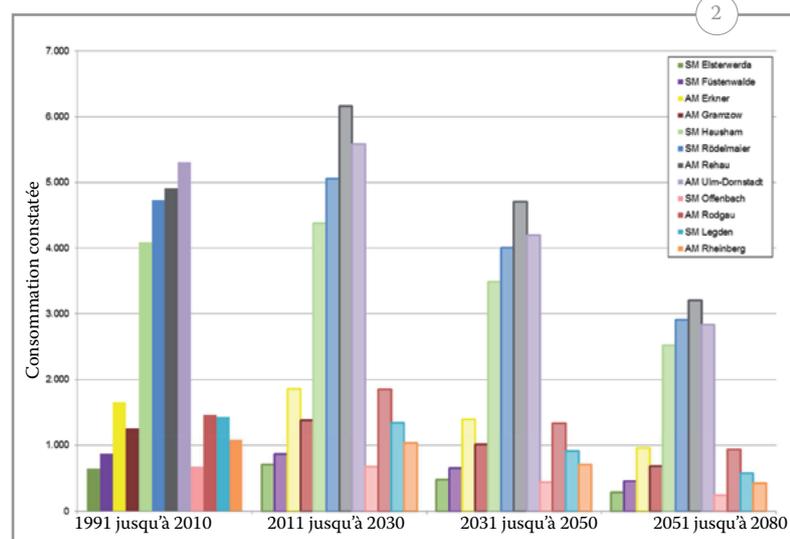
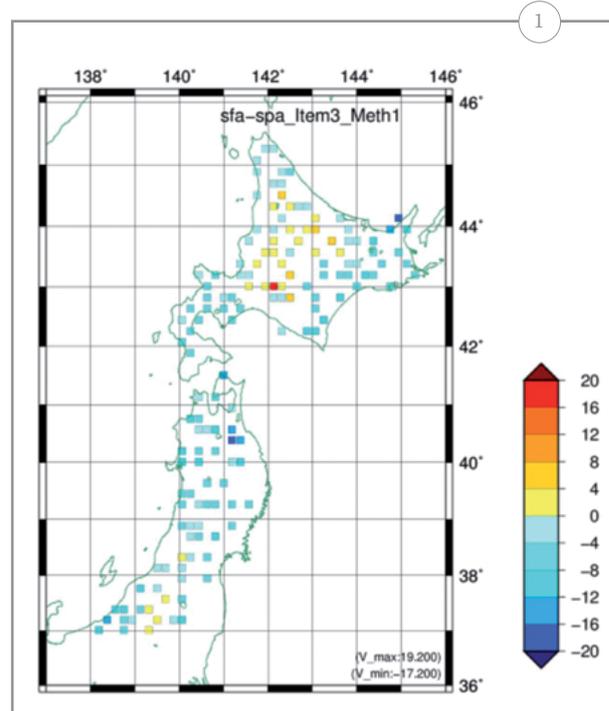
## THÈME 1 - SERVICE HIVERNAL ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Comment le changement climatique affecte-t-il les conditions hivernales et quels en sont les impacts sur la viabilité hivernale ? Dans certains cas, l'hiver devient plus sévère et dans d'autres plus doux. Comment les organisations de viabilité hivernale y répondent-elles en prenant en considération une analyse avantages/coûts, une planification appropriée et des améliorations technologiques ?

Ce thème était proposé pour la première fois dans un congrès international de la viabilité hivernale ; sa nouveauté et la difficulté d'appréhension du sujet n'ont suscité qu'un faible nombre de communications ; nul doute qu'il soit appelé à croître.

Les préoccupations liées à cette question commencent à poindre dans d'autres thèmes, comme l'observation d'événements météorologiques inhabituels et souvent extrêmes ou la difficulté à trouver les équilibres entre budget et niveaux de service.

L'activité de viabilité hivernale est directement affectée par le changement climatique. Dans certaines zones, il s'agit d'un



réchauffement général perceptible à l'échelle d'une carrière de « *déneigeur* ». En d'autres lieux, les sautes d'humeur du temps se traduisent par des tempêtes, des hivers anormalement doux ou rigoureux, et globalement par des événements qui s'éloignent de la normalité. Les organisations doivent répondre à ces changements.

Les communications proposaient des déclinaisons intéressantes et variées concernant l'analyse des variations des chutes de neige sur plusieurs décennies, une approche sur l'évolution de l'accidentologie selon le climat, une projection de ce que

seront gestion des personnels et consommation des fondants, établies à partir d'un modèle statistique.

Une analyse californienne montre ainsi que la diminution prévisible des événements neigeux devrait entraîner une diminution des accidents, tempérée toutefois par la substitution d'événements pluvieux aux événements neigeux.

En Allemagne, une analyse climatologique sur la période 1951-2010 et une simulation de l'évolution jusqu'à la fin du siècle permettent, par projection, d'en apprécier l'incidence sur la gestion de la main d'œuvre et la consommation de fondants. Enfin, une étude japonaise relie l'évolution de l'accidentologie à celle du climat à partir de la climatologie récente des précipitations neigeuses et sa potentielle variation sur plusieurs décennies.

Ces trois communications, relativement pionnières, posent un certain nombre de bases méthodologiques intéressantes pour de futurs développements.

## THÈME 2 - SERVICE HIVERNAL DANS UN CONTEXTE DE RESTRICTION BUDGÉTAIRE

La crise économique touche de nombreux pays sans que la demande de déplacement ne diminue, une adaptation de la viabilité hivernale à des budgets en diminution est nécessaire. Quels en sont les impacts vis-à-vis de la formation ? Y a-t-il eu des changements sur la flotte de matériel, notamment la modularité des équipements ? Quelles solutions envisager ? Cette préoccupation de court terme a suscité une douzaine de communications.

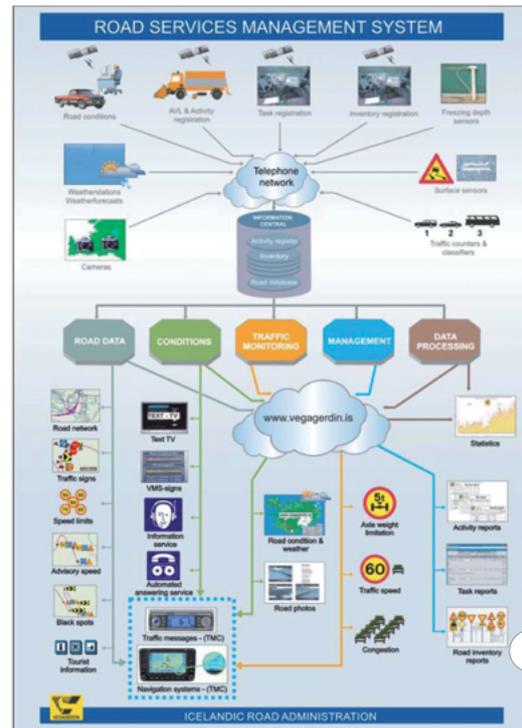
Les auteurs se sont attachés à décrire les réactions des autorités pour faire face à la conjonction d'hivers relativement rudes et d'une diminution des budgets d'entretien. Différentes stratégies sont observées.

Tout d'abord, une approche économique : Japon et Royaume-Uni analysent les bénéfices directs et indirects de la viabilité hivernale pour en justifier le coût économique. Dans les pays Baltes, le calcul montre qu'un euro investi en VH rapporte 20 euros à la société lors d'hivers difficiles.

Ailleurs, c'est le mode d'intervention qui est revu. Ainsi, en Islande, la réflexion s'est traduite par une diminution de niveau de service à court terme et par une mise à plat complète de l'organisation afin de l'optimiser, dans le but de revenir au



3



4

niveau initial avec moins de ressources. La République tchèque, elle, a travaillé sur la passation des contrats avec les entreprises. Enfin, les niveaux de service sont parfois revus, et il peut être demandé aux usagers de devenir de véritables partenaires, en s'équipant ou en participant eux-mêmes aux actions de viabilité hivernale.

Les approches techniques ne sont évidemment pas négligées. L'optimisation des traitements fait partie de la panoplie de

solutions : il s'agit de définir des stratégies plus fines et d'utiliser les bons produits pour dépenser moins ; l'épandage de saumure est souvent cité. Des réponses sur l'infrastructure sont également proposées ; ainsi le choix de techniques de surface particulières alliant propriétés frottantes avec qualités mécaniques et possibilité de mise en œuvre en faible épaisseur. Il convient aussi de prévoir au mieux les états de chaussées ; des modèles de plus en plus performants voient le jour. En outre, s'agissant de l'investissement dans certains équipements, comme les stations météo routières, une réponse très documentée a été apportée par nos collègues allemands ; des matériels polyvalents, moins gourmands en carburant, peuvent également être mieux adaptés.

Autre piste possible : la formation des personnels. Ainsi, lorsque l'on double les consommations de sel sans que la rigueur de l'hiver n'augmente d'autant, formation et consignes données sont à reconsidérer, comme le montre une communication française.

Enfin, l'équilibre global doit évidemment prendre en considération l'accidentologie et les coûts qu'elle engendre ; la Corée a mené une analyse sur les routes express lors des épisodes hivernaux, sans négliger les autres facteurs de risque tels que l'alcool, le non port de la ceinture de sécurité et l'âge du conducteur.

### THÈME 3 - ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES

Certains événements hivernaux ont été si intenses que d'innombrables automobilistes sont restés bloqués sur les autoroutes ou des communautés entières isolées. Les organisations habituelles ne sont alors plus efficaces.

Des études de cas décrivant ces événements ont permis d'analyser les organisations spécifiques, la gestion et la coopération entre les autorités routières et d'autres organismes. Ont ainsi été abordées la raréfaction des ressources lors d'événements extrêmes de durée prolongée, comme les réserves stratégiques de sel, les limites concernant la main-d'œuvre, la fiabilité des équipements, et les accords concernant l'aide provenant d'autres sources ; mais aussi les plans de communication à destination des usagers de la route, les stratégies de gestion des véhicules lourds et commerciaux, et les véhicules d'intervention.

Conséquences ou non du changement climatiques, les événements extrêmes semblent de plus en plus fréquents. Mais la qualification même mérite qu'on s'y arrête : extrême, rude, sévère, rare, etc. Une communication finlandaise a fait le point sur ces concepts. Ils résultent parfois d'autres phénomènes naturels, comme une éruption volcanique, avec les difficultés de viabilité hivernale, comme l'Argentine l'a montré.

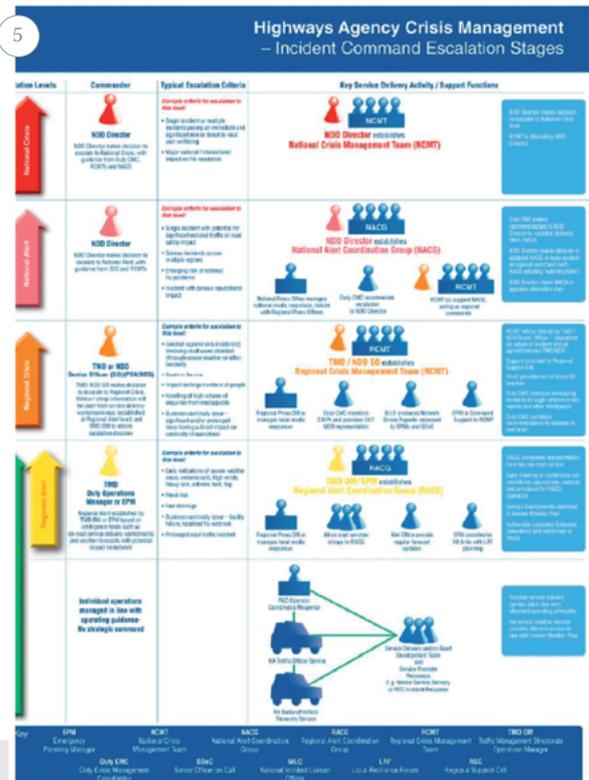


Illustration 5 (thème 3) - Extrait du « Crisis Management Manual »  
Illustration 6 (thème 3) - Fermeture de la E136 en Norvège



7

De nombreux pays ont été confrontés ces dernières années à des chutes de neige importantes, les conduisant à définir de nouvelles règles : gestion des stocks de sel, décrite dans une communication allemande, amélioration de la communication et de l'information routières, de l'organisation et de l'approvisionnement en fondants routiers, en Grande-Bretagne (très éprouvée par des hivers difficiles entre 2008 et 2011), gestion des itinéraires de montagne face aux avalanches (exemple de la route E136 en Norvège).

Enfin, ces épisodes hivernaux sont source d'aggravation des désordres des chaussées, de surface ou structurels ; plusieurs analyses ont été proposées.

## THÈME 4 - GESTION DE LA VIABILITÉ HIVERNALE

Ce thème, classique dans les congrès internationaux de la viabilité hivernale de l'AIPCR, concerne une vaste gamme de sujets : analyse des niveaux de service, relation entre stratégies opérationnelles et mobilité (taux d'accidents – type et gravité), fiabilité des temps de parcours, point sur les innovations, les technologies et les outils d'aide à la décision de nouvelle génération. Les mesures propres aux usagers vulnérables (cyclistes, piétons, personnes à mobilité réduite) ont également été abordées.

La climatologie et la définition d'index hivernaux sont des préoccupations d'actualité car les hivers fluctuent notablement ; la Lituanie a développé des outils permettant de les comparer. La viabilité hivernale implique aussi la gestion des stocks de

fondants routiers ; l'institut de recherche fédéral allemand a développé un modèle à partir des informations des stations météo routières et des prévisions météorologiques. Un guide sur le stockage des fondants a été présenté par la France. D'autres communications ont porté sur les stratégies d'intervention et le mode d'intervention (préventif, curatif, saumure), la détermination des quantités résiduelles permettant d'optimiser les salages, l'utilisation de capteurs pour étayer les stratégies de déneigement ou le choix du fondant le plus efficace, ou encore de dimensionnement des ateliers.

Bien des phénomènes restent à expliquer, comme l'effet du trafic sur la transformation de la glace et de la neige ; le Danemark l'étudie à partir d'un manège simulant le trafic afin de quantifier cet effet. Divers modèles voient le jour ; ils intègrent des données telles que l'historique des interventions, le trafic, les données météo, l'état de la chaussée, et sont utilisés pour faire des prévisions d'état de surfaces, d'intervention, etc.

Au-delà du maintien de la circulation, la viabilité hivernale doit aussi assurer la sécurité des usagers ; Finlande et Corée ont mené des analyses de l'accidentologie en hiver en relation avec les niveaux de service. Il arrive qu'un accident conduise à définir des règles nouvelles et réorganiser l'information aux usagers : la Norvège en a testé la mise en œuvre en informant sur la vitesse, la direction du vent, la visibilité et l'adhérence dans le passage d'un col.

L'utilisateur est évidemment intéressé aux conditions de conduite, elles-mêmes liées à l'adhérence. De multiples solutions,



8

méthodes et équipements, présentés dans le cadre de ce congrès, ont permis d'éclairer cette question. Ainsi, face au manque de littérature sur la qualité des pneumatiques, une équipe norvégienne a mis en place une expérimentation avec des poids lourds.

La viabilité hivernale nécessite également compétence et une validation des connaissances ; les administrations norvégiennes et suédoises ont mis en place des procédures de qualification des personnels s'inscrivant dans un cadre normatif européen. De son côté, l'administration finlandaise des routes, qui emploie de nombreux prestataires, a développé un système de suivi en temps réel, dont les informations sont visibles sur Internet, notamment par les usagers. Un tel support pourra aussi être utilisé pour la gestion de la satisfaction des clients. Une autre communication a abordé la démarche qualité, au travers de contrats de prestations de viabilité hivernale de difficulté croissante, de basique à extrêmement complexe.

La gestion de la viabilité hivernale revêt enfin des aspects sociétaux ; depuis plus de vingt ans la ville de Sapporo, au Japon, donne une place prépondérante à l'utilisateur/citoyen,

visant à créer une véritable culture de l'hiver, avec définition d'objectifs chiffrés et d'indicateurs. Piétons et cyclistes font aussi partie des préoccupations des gestionnaires ; la question des trottoirs et des pistes cyclables a été abordée par la ville de Québec, pionnière en la matière.

## THÈME 5 - APPROCHES OPÉRATIONNELLES, ÉQUIPEMENTS ET PRODUITS

L'évolution des équipements, des technologies et des produits pour lutter contre la neige et le verglas a été abordée au travers de présentations portant sur les propriétés, les performances, l'analyse du cycle de vie, les impacts sur l'environnement des méthodes de raclage, des matériels d'épandage, des fondants routiers et des abrasifs, ainsi que sur le caractère durable des approches opérationnelles de service hivernal.

Les séances techniques ont également permis d'évoquer les approches alternatives aux méthodes traditionnelles, ainsi que le contrôle des congères par des barrières à neige ou le modelage du terrain, la détection et la protection contre les avalanches, ou encore l'utilisation de sources d'énergie géothermique.

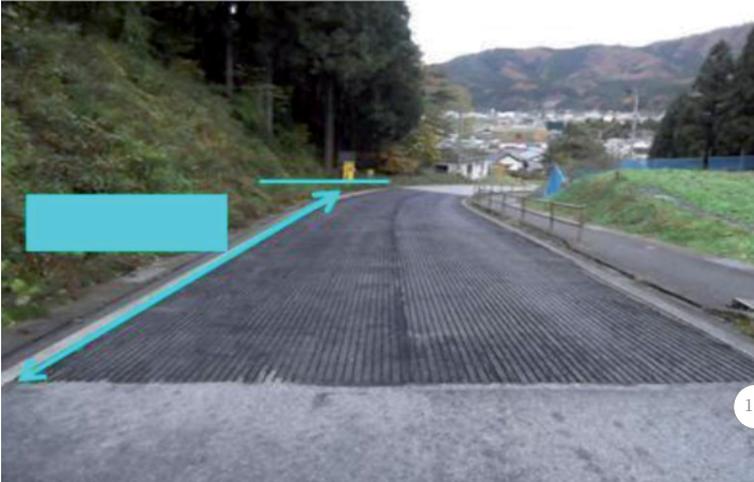
Qualifier les produits est toujours d'actualité ; des études françaises et lituaniennes se sont attachées à déterminer leurs performances et leur innocuité vis-à-vis de l'environnement à partir d'études de laboratoire et d'essais grandeur nature. Les quantités théoriques de fondants routiers à épandre sur les routes sont faibles ; en effet, pour le verglas, nombre d'interventions se font préventivement et de plus en plus à la bouillie ou à la saumure. Il faut épandre sur une chaussée, et ce de façon homogène, quelques grammes ou dizaines de grammes de produit par mètre carré, à partir d'un véhicule qui roule à plus de cinquante kilomètres heure ; cette opération reste délicate.

9



Illustration 8 (thème 4) - Permettre la circulation des vélos à Québec  
Illustration 9 (thème 5) - Contrôle de la dispersion transversale (France)

10



11

Optimiser matériels et épandage, déterminer les quantités répandues et contrôler le résultat restent ainsi des composantes fondamentales de la viabilité hivernale. Dans cette perspective, divers travaux de normalisation ont été entrepris en Europe : essais en site propre au Danemark, outils (Odémie) et méthodes de contrôle de la dispersion transversale et longitudinale en France.

Mais l'appréciation faite par l'opérateur peut aussi causer des dérives, comme l'ont montré des tests effectués en Allemagne pour analyser les différences résultant de l'évaluation d'une situation météo routière. De ce point de vue, la formation doit être améliorée.

Caractériser un résultat, utiliser des informations pour décider du mode d'intervention sont devenus une nécessité ; l'une des solutions est de mesurer l'adhérence. Ceci vaut naturellement pour les chaussées routières, mais aussi pour les trottoirs et les pistes cyclables, comme plusieurs communications l'ont prouvé.

En tout état de cause, l'acquisition de données variées est un facteur important pour une bonne mise en œuvre. Différentes techniques ont été présentées, dont une méthode optique

développée en Espagne pour mesurer la salinité résiduelle ; ou encore des approches utilisant des capteurs pour faciliter la prise de décision en temps réel, ou pour caractériser itinéraires et situations : cartographie thermique, usage de données issues des véhicules, transmission d'informations météo.

Par ailleurs, le revêtement lui-même peut être mis à contribution. La recherche de revêtements possédant des propriétés antiverglas est ancienne ; toutefois, elle n'a pas encore produit les fruits escomptés. Les recherches continuent au Japon, en Andorre ou encore en Allemagne, parmi d'autres.

L'environnement est devenu une préoccupation importante de la viabilité hivernale, au cœur même des enjeux opérationnels. Ainsi, une étude sur les systèmes de filtration des chlorures dans les bassins permet de comprendre comment les ions migrent dans les sols. Des méthodes alternatives sont également envisagées. Au Japon, l'énergie géothermique est à la source de systèmes de fonte de la neige, mais aussi de chauffage direct des chaussées. L'Allemagne s'est également intéressée en détail à la mise en œuvre de systèmes de chauffage, à leur intérêt et à leurs limites.

Enfin, les obstacles naturels et artificiels à la viabilité hivernale n'ont pas été négligés. Avalanches et congères sont une préoccupation majeure des exploitants, ont fait l'objet de présentations parmi lesquelles une communication andorrane faisant le bilan de trente ans d'expérience, une intéressante étude sur le col de la Fageole (sur l'A75 en France), ou encore sur divers systèmes de modélisation et de prévision des avalanches. Du côté des obstacles artificiels, des communications ont traité la résistance des glissières de sécurité au contact des lames de déneigement, ou encore la gestion des bourrelets pour l'implantation de giratoires au Japon.

## THÈME 6 - LES USAGERS DE LA ROUTE EN CONDITIONS HIVERNALES

L'utilisateur de la route est un partenaire important de la viabilité hivernale. Les besoins des usagers de la route en hiver varient selon la nature de leur voyage, nécessitant des plans de gestion et des modes de communication appropriés. À titre d'exemple, des téléphones intelligents, des applications particulières, des systèmes de communication embarqués, ou les médias sociaux peuvent être des moyens viables de faire communiquer autorités routières et usagers, dans les deux sens. Les véhicules ont évolué et disposent de nombreuses aides à la conduite, dispositifs de sécurité, et systèmes pour communiquer avec les



12



opérateurs. Ces progrès contribuent également à la mobilité en hiver.

Disposer d'informations sur les conditions de conduite et de circulation est indispensable pour l'utilisateur, le Japon a ainsi présenté un site Internet dédié nommé « *Drive traffic* ». Toujours au Japon, un autre site indique aux usagers de la route les prévisions de viabilité à 24 heures, leur permettant de décider ou non de leur déplacement.

L'information doit être aisément compréhensible ; c'est pourquoi les États-Unis ont mené une réflexion sur le formatage de l'information transmise aux usagers, en produisant un guide de diffusion destiné aux exploitants.

La conjonction des véhicules lourds, de la pente et de la neige conduit le plus souvent à des difficultés. Il existe cependant peu d'éléments objectifs pour qualifier chacune de ces composantes ; la Norvège a réalisé une étude, montrant qu'il est possible d'associer des capacités de franchissement à différents types de silhouettes de poids lourds.

Il est parfois difficile de prévoir les phénomènes météo routiers, qui peuvent survenir de façon très rapide ou très localisée, non sans conséquence juridique pour les exploitants. En effet, les victimes d'accidents de la route liés à la neige ou au verglas peuvent mettre en cause le gestionnaire routier pour défaut d'entretien normal. Des communications françaises et allemandes se sont attachées à cette question de la responsabilité du gestionnaire et des éventuelles réparations.

Enfin, si réduire le nombre de victimes sur les routes reste un objectif majeur, la perception de l'environnement routier en hiver peut elle-même être altérée, comme l'a montré une étude québécoise.

## THÈME 7 – TUNNELS ROUTIERS EN CONDITIONS HIVERNALES

L'inscription de ce thème au programme technique de ce congrès résulte de l'intérêt soulevé par diverses communications présentées lors du précédent congrès de la viabilité hivernale à Québec, en 2010.



13



14

A l'intérieur des tunnels routiers, les conditions de température sont raisonnablement uniformes et constantes au long de l'année. Cependant, lorsque les températures extérieures sont très basses, des mesures d'exploitation exceptionnelles peuvent être requises, notamment aux têtes du tunnel et dans leurs environs. La conception de l'ouvrage et de ses équipements doit en tenir compte. C'est ce qu'ont voulu démontrer les communications reçues à Andorre.

Une communication a décrit les expériences d'exploitation des nombreux tunnels de la région d'Aragon (Espagne) dont l'altitude, supérieure à 1 000 mètres, oblige à adopter des mesures d'entretien garantissant la viabilité face au risque de chutes de neige. Parmi ces ouvrages, c'est le tunnel binational du Somport sur lequel les activités et les connaissances acquises ont été décrites avec le plus de détails, en traitant les différents aspects du problème :

- les ressources humaines nécessaires, notamment dans les zones critiques comme les têtes du tunnel ;
- l'interaction avec l'utilisateur par les services d'information locaux, mais aussi régionaux ;
- les opérations d'entretien nécessaires pour assurer le fonctionnement de l'infrastructure et des installations du tunnel.

Une seconde communication a porté sur les défis posés par deux tunnels urbains à Québec, dont les conditions climatiques obligent à d'énormes efforts de planification et d'organisation tout au long de l'année, afin de respecter les critères de conservation, d'entretien et de sécurité. Des vidéos et photographies spectaculaires ont aidé, sans aucun doute, à saisir l'ampleur du problème.

La troisième communication, enfin, a présenté l'expérience du tunnel d'Envalira, à Andorre, le plus élevé des grands tunnels européens. Elle a montré l'intérêt d'adopter une démarche globale de l'utilisateur et de la sécurité, en donnant des exemples précis de mesures de conception qui influent sensiblement sur l'exploitation du tunnel.

Deux aspects essentiels sont ressortis de ces analyses :

- la nécessité de prendre en considération les aspects liés à l'exploitation et les défis posés par les conditions extrêmes, dès la phase de conception du projet. Une conception appropriée de l'ouvrage et de ses installations aura un impact très important sur la réduction des coûts d'exploitation qui seront finalement nécessaires pendant la durée de vie utile de l'infrastructure.
- les efforts considérables réalisés par les différentes administrations pour accroître et améliorer les canaux d'interaction avec les usagers, destinataires finaux de ces aménagements.

## THÈME 8 - PONTS ROUTIERS EN CONDITIONS HIVERNALES

Deux séances étaient consacrées, d'une part, à l'impact des sels de déverglaçage sur les ponts et méthodes de protection et, d'autre part, à l'entretien des ponts routiers en condition hivernales.

La spécificité des ponts routiers (exposition du tablier au refroidissement) conduit à observer, au droit du revêtement et de la structure même de l'ouvrage, des températures inférieures à celle de la route d'amenée. En outre, les conditions de vent sont souvent plus défavorables au droit des ponts, renforçant cette baisse de température. Les courants d'air présents dans certains tunnels peuvent également être la cause d'un refroidissement accru au droit d'un pont situé à proximité d'une tête de tunnel. Cet effet a été mis en évidence sur un tronçon de l'autoroute A2 en Croatie.

Ces conditions microclimatiques particulières imposent donc un traitement hivernal spécifique au droit des ponts. Une meilleure connaissance des températures au droit de ceux-ci, par un renforcement des mesures de températures, permet d'optimiser ce traitement spécifique et de réduire la quantité de sels répandue.

Le sel répandu, NaCl principalement, s'évacue par le système de drainage du pont. En cas d'évacuation directe ou de rupture des

15



Illustration 15 (thème 8) - Des dégâts à la butée, à la paroi et à la surface à cause des cycles gel/dégel



tuyaux d'évacuation, les piles peuvent être dégradées parfois assez vite comme sur un viaduc de seulement 10 ans à Andorre.

Toutefois, une partie importante de ces sels échappe au drainage et entre en contact avec la structure de l'ouvrage en face supérieure mais aussi en partie inférieure par des voies d'infiltrations situées au droit des défauts d'étanchéité, des joints de dilatation, ou des pourtours d'avaioirs, etc. Ils induisent alors une importante corrosion des armatures, des câbles de postcontrainte, des ancrages de garde-corps, etc., comme le constate une étude britannique. Les chlorures favorisent cette corrosion mais ne sont pas consommés par cette réaction électro-chimique bien décrite dans un exposé. Ils restent donc nocifs sans limite dans le temps !

Les chlorures interviennent aussi dans le comportement du béton face aux cycles de gel-dégel dont ils renforcent la dangerosité. En Espagne c'est cet effet des chlorures qui est considéré comme principal par les autorités. Enfin, les sels de déverglaçage contiennent aussi du sodium, qui peut contribuer au développement de réactions de gonflement interne du béton (réaction alcali-granulats) comme observé en Espagne et au Danemark.

Un premier traitement possible est d'empêcher la pénétration des chlorures dans le béton. Un exposé japonais présente un tel traitement par une solution d'imprégnation à base de silane (*illustration 16*) qui colmate la porosité de surface et empêche ainsi la pénétration de l'eau chargée de chlorures dans le béton tout en restant perméable à la vapeur d'eau.

Cette imprégnation hydrophobe est appliquée aux surfaces directement en contact avec les sels de déverglaçage comme les rives de pont, dispositifs de retenue en béton, trottoirs, etc. Elle pénètre sur 5 à 10 mm mais doit être renouvelée au minimum tous les 6 ans. Toutefois, la facilité d'application rend

cette solution intéressante. Ainsi pour un relevé de rives d'une durée de vie de 100 ans, renouveler cette couche tous les 6 ans est de 15 à 60 % moins onéreux que de remplacer l'élément après 50 ans suite à sa dégradation par les chlorures.

Empêcher tout contact des chlorures avec la structure d'un pont est souvent impossible, dès lors ce risque de pollution doit se gérer en tant que tel. Au Royaume-Uni cette gestion du risque chlorures intègre aussi le changement climatique dont les conséquences escomptées y sont des hivers plus doux et plus humides. Dès lors la fréquence des périodes d'épandage va diminuer mais lors de ceux-ci la consommation en sels va croître suite à l'augmentation des précipitations en période hivernale. Cette gestion du risque chlorures conduit à adapter les techniques et fréquences d'inspections des ponts afin de détecter au plus vite les infiltrations d'eau chargée en chlorures.

Dans de nombreux pays, le parc de ponts s'est fortement agrandi dans les années 1960-70. Certains éléments fortement sollicités peuvent déjà être en fin de vie (*illustration 17*). Ainsi au Danemark, l'administration des routes, sur base de l'expérience actuelle, estime que durant ces années-là, une pile de ponts exposée aux chlorures avait une durée de vie de 15-20 ans. Pour une rive de ponts elle était de 20-30 ans et pour une étanchéité de 30-40 ans.

L'inspection détaillée d'un ouvrage dégradé en vue de préparer sa réhabilitation nécessite l'utilisation de plusieurs méthodes non destructives (mapping potentiométrique, mesureur d'enrobage, radar haute fréquence, thermographie infrarouge, Impulse response, etc.) combiné à des prélèvements d'échantillons pour analyses en laboratoire (teneur en chlorure, en humidité, évaluation de l'alcali-réaction, etc.). Ceci est réalisé par exemple au Danemark, en Espagne et dans la principauté d'Andorre.

Au Danemark, grâce à ces résultats, il est admis qu'en dessous d'une valeur d'environ 0,05 % de chlorures par rapport à la masse de béton, il n'y a pas de risque de corrosion. Au-delà de cette limite, si des traces de corrosion sont observées, le béton pollué doit être retiré. Si cette pollution atteint 0,1 %, il est retiré même en l'absence de corrosion.

Notons qu'en présence de torons de précontrainte, ces limites sont à diviser par deux. En outre, les conséquences d'une corrosion par les chlorures d'un toron sont beaucoup plus importantes sur la stabilité générale du pont.

Dans les cas où le béton est localement remplacé, se pose la question de la durabilité de la réparation (fatigue, cycles de gel-dégel, adhérence, etc.). Au Japon, ces réparations sont réalisées avec des bétons à prise rapide pour limiter l'impact de la durée de la réparation sur le trafic. Des essais de fatigue au simulateur de trafic réalisés sur une dalle test réparée en son centre sur une épaisseur limitée, indiquent que si l'adhérence semble suffisante entre la réparation et le béton de la dalle, le béton à prise rapide utilisé présente une moindre résistance à la fatigue.

Suite à cette campagne d'essais, il est aussi apparu qu'une dalle test placée dans des conditions de gel présente une résistance à la fatigue 2,5 fois supérieure à la même dalle hors gel.

Enfin, lorsque qu'il n'est pas possible de retirer le béton pollué, la solution d'installer une protection cathodique est préconisée dans plusieurs pays pour empêcher l'évolution d'une telle corrosion. Cette installation relativement légère nécessite néanmoins une surveillance continue et une alimentation électrique même si elle est de faible importance.

Les budgets d'entretien des ponts en béton se réduisent du fait de la situation économique de nombreux pays. Les échanges réalisés lors de cette séance se sont donc avérés d'autant plus fructueux, et il est possible d'en tirer les leçons suivantes :

- dans les régions à hiver froid, il convient de d'empêcher la pénétration des sels de déverglaçage dans le béton ; à cette fin, il est nécessaire de mettre en œuvre des dispositifs d'étanchéité et de scellement des joints ;
- lorsque les sels ont pénétré dans le béton, les ions chlorures y demeurent et occasionnent des dégâts permanents. Il faut donc intervenir dès l'apparition des détériorations ;
- il est possible de réduire l'emploi des sels de déverglaçage en prenant en considération la température et le niveau de service de chaque ouvrage.

## CONCLUSIONS

Environ 1 500 participants aux conférences, 3 000 visiteurs, 600 spectateurs pour le concours de chasse-neige, 150 communications réparties en 38 séances et 170 présentations d'affiches : ce premier bilan quantitatif donne la dimension de l'événement, une première pour la Principauté d'Andorre et un véritable succès.

Un congrès, c'est aussi toute une partie d'animation avec l'exposition et les rencontres sur les stands, des démonstrations de matériels, des visites techniques, un concours de chasse-neige, et enfin des activités culturelles.

Le Congrès Andorre 2014 a réuni les experts de la viabilité hivernale du monde entier, et atteint son objectif de faciliter le partage des connaissances et d'échanger des idées sur les derniers développements et les défis liés au service hivernal. Ce succès est une puissante motivation pour continuer dans cette voie, et préparer le XV<sup>e</sup> Congrès international de la Viabilité hivernale de l'Association mondiale de la Route, qui se déroulera à Gdańsk, en Pologne, en 2018.#



Illustration 18 - Zone d'exposition du Congrès d'Andorre