

# recherche-transport

## **Cost 309**

# **Météorologie routière**

Édité par :

F. Fabre et A. Klose

**Commission des Communautés européennes**

Observatoire Économique  
et Statistique des Transports

**DOCUMENTATION**

ser. n

**CDAT**  
**2591**

**Rapport final**

Direction générale Transports  
Direction générale Science, recherche et développement

**Publié par**  
**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**  
**Direction générale**  
**Télécommunications, industries de l'information et innovation**  
**L-2920 Luxembourg**

**AVERTISSEMENT**

Ni la Commission des Communautés européennes, ni aucune personne agissant au nom de la Commission n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations ci-après

Une fiche bibliographique figure à la fin de l'ouvrage.

Luxembourg: Office des publications officielles des Communautés européennes, 1992

ISBN 92-826-3245-8

© CECA-CEE-CEEA, Bruxelles • Luxembourg, 1992

*Printed in Belgium*

## RESUME

Le présent rapport vise à présenter les résultats du travail effectué de février 1987 à décembre 1990 dans le cadre du projet COST 309 "Météorologie routière".

La déclaration commune d'intention pour la mise en oeuvre d'une action de recherche européenne en matière de météorologie routière a été signée par 11 pays : Autriche, Danemark, Espagne, Finlande, France, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

L'objectif du projet COST 309 était d'examiner l'état global des connaissances et des techniques dans l'application de la météorologie routière à l'entretien hivernal par une étude des méthodes de détection, de prévision et de représentation des conditions de circulation routière liées aux conditions climatiques dangereuses.

L'action de recherche du projet a été menée comme suit en 12 thèmes : les pays coordonnateurs et les responsables figurent entre parenthèses.

1. Capteurs et systèmes de mesure (Suède, M. L. Frimodig)
2. Systèmes globaux, cartographie thermique, transmission de données (Royaume-Uni, M. P. Buchanan)
3. Détection et prévision de brouillard (France, Mme C. Furgaut et M. E. Legrand)
4. Radar météorologique (Finlande, M. E. Nysten)
5. Prévision à court terme, prévision des conditions de circulation routière (Suède, M. L. Frimodig)
6. Atlas météorologique (Danemark, M. F. Knudsen)
7. Conditions climatiques et accidents (Norvège, Mme K. Billehaug)
8. Analyses coûts-avantages d'un service de météorologie routière (Finlande, M. Y. Pilli-Sihvola)
9. Communication entre les météorologistes et les services responsables de l'entretien des routes (Pays-Bas, M. H.W. Riepma)
10. Diffusion des informations entre les services météorologiques (France, M. E. Legrand)
11. Diffusion des informations aux usagers de la route (Suisse, M. U. Schlup)
12. Effets des fondants (Autriche, M. H. Scharsching)

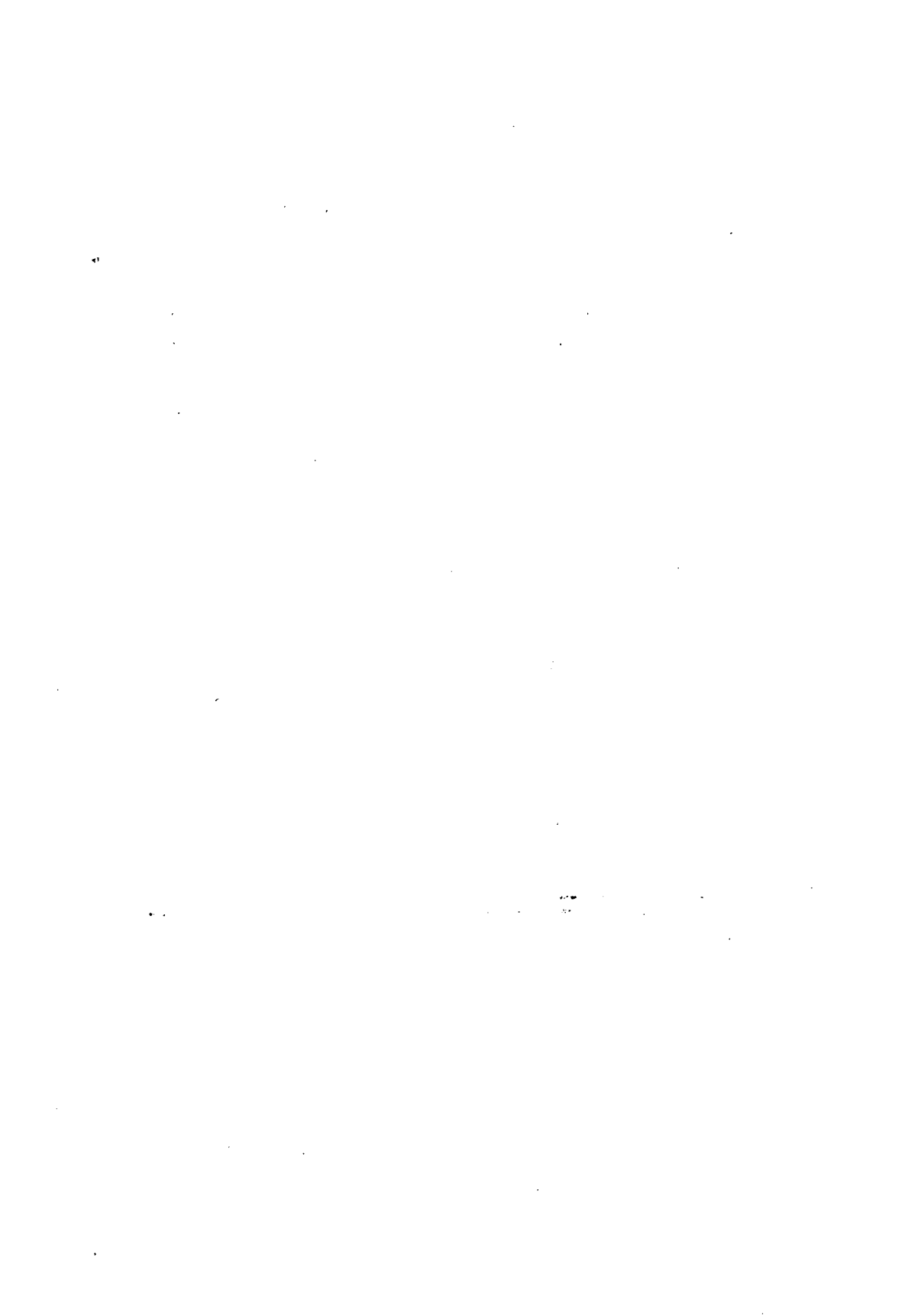
Le rapport décrit une collaboration européenne antérieure dans ce domaine, passe en revue les résultats des sujets de recherche et présente les conclusions et recommandations du Comité de gestion.



**COMITE DE GESTION  
DE L'ACTION  
COST 309**

**Président : M. Erkki NYSTEN (Finlande)  
Vice-président : M. Ingmar OLOFSSON (Suède)**

**Secrétariat : MM. Gerke SOMER et Ignacio ZUBERO  
(Commission des Communautés Européennes - DG VII)**



## MEMBRES ET EXPERTS DU COMITE DE GESTION COST 309 (1987-1990)

### AUTRICHE

M. H. Felkel

ZAMG, Hohe Warte 38  
A - 1140 WIEN

M. Helmut Scharsching

Amt der NÖ Landesregierung Autobahnverwaltung  
Operngasse 21  
A - 1040 WIEN

### BELGIQUE

M. A. Van Gysegem

KMI, Ringlaan 3  
B - 1180 BRUXELLES

### DANEMARK

M. Niels Otto Jensen

Dept. of Met. Riso Nat. Lab  
DK - 4000 ROSKILDE

M. Fred. Knudsen

Vejdirektoratet Havnegade 27  
DK - 1016 COPENHAGEN K

M. Per Simonsen

Vejdirektoratet Havnegade 27  
DK - 1016 COPENHAGEN K

### ESPAGNE

Mr Ricardo Font Blasco

Istituto Nacional de Meteorologica  
Apartade Correas, 285  
Ciudad Universitaria  
E - MADRID

M. Angel Lacleta

D.G. De Carreteras  
Ministeria de Obras Publicas y Urbanismo  
Castellna 67  
E - 28071 MADRID

FINLANDE

M. E. Nysten

Finnish Meteorological Institute  
P.O. Box 503, Vuorikatu 24  
SF - 00101 HELSINKI

M. Yrjö Pilli-Sihvola

Finnish National Road Administration  
P.O.Box 13  
SF - 45101 KOUVOLA

FRANCE

M. A. Corfdir

SETRA, Av. Aristide Briand 46  
F - 92223 BAGNEUX CEDEX

Mme C. Furgaut

SETRA, Av. Aristide Briand 46  
F - 92223 BAGNEUX CEDEX

M. E. Legrand

Meteorologie Nationale  
18, Rue Elisee Reclus  
F - 59659 VILLENEUVE D'ASCQ

M. J.C. Peureux

SETRA, Av. Aristide Briand 46  
F - 92223 BAGNEUX CEDEX

M. Michel Le Quentrec

Météorologie Nationale Aéroport du Bourget  
F - 93350 LE BOURGET

NORVEGE

Mme Kjersti Billehaug

Public Road Administration  
P.O.Box 6390 Etterstad  
N - 0604 OSLO 6

M. L.A. Breivik

Det Norske Meteorologiske Institutt  
P.B. 43 Blindern  
N - OSLO

PAYS-BAS

M. G. Klaassen

Ministry of Transport and Public Works  
P.O. Box 20906  
NL - 2500 EX THE HAGUE METH

M. Frank van Lindert

KNMI - P.O. Box 201  
NL - 3730 AE DE BILT



M. H.W. Riepma

KNMI - P.O. Box 201  
NL - 3730 AE DE BILT

PORTUGAL

M. C. Malheiro

Instituto Nacional de Meteorologi e geofisica  
Rua C - Aeroporto de Lisboa  
P - LISBOA

M. C. Martirez

Junta Autonoma de Etradas  
Rua Maria de Fonte 55  
P - LISBONNE 1100

ROYAUME-UNI

M. Pete Buchanan

The Met. Office Aberdeen  
Weather Centre, Seaford Centre  
Lime st. Aberdeen AB2 IBJ  
GB - SCOTLAND

M. Colin Flood

The Met. Office London Road Bracknell  
GB - BERKSHIRE RG 12 2 SZ

SUEDE

M. P. Erikson

Swedish National Road Administration  
S - 78187 BORLÄNGE

M. L. Frimodig

Swedish National Road Administration  
S - 78187 BORLÄNGE

M. Christer Karlsson

Swedish National Road Administration  
S - 78187 BORLÄNGE

M. Ingmar Olofsson

SweRoad, Box 4202  
S - 17104 SOLNA

SUISSE

M. Ulrich Schlup

Bundesamt für Strassenbau  
Monbijoustrasse 40  
CH - 3003 BERNE

C.E.E.

**M. F. Fabre**

C.E.E., 200 rue de la Loi  
B - 1049 Bruxelles

**M. G. Somer**

C.E.E., 200 rue de la Loi  
B - 1049 Bruxelles

**M. I. Zubero**

C.E.E., 200 rue de la Loi  
B - 1049 Bruxelles

## TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. Introduction . . . . .	1
2. Contexte historique . . . . .	3
3. Principaux objectifs du projet . . . . .	9
4. Organisation du travail du projet COST 309 . . . . .	13
5. Rapports des divers groupes de travail . . . . .	14
5.1 Capteurs et systèmes de mesure . . . . .	14
5.2 Systèmes globaux, cartographie thermique, transmission de données . . . . .	23
5.3 Détection et prévision de brouillard . . . . .	34
5.4 Radar météorologique . . . . .	50
5.5 Prévision à court terme, prévision des conditions de circulation routière . . . . .	61
5.6 Atlas météorologique . . . . .	65
5.7 Conditions climatiques et accidents . . . . .	85
5.8 Analyses coûts-avantages d'un service de météorologie routière . . .	93
5.9 Communication entre les météorologistes et les services responsables de l'entretien des routes . . . . .	102
5.10 Diffusion des informations entre les services météorologiques . . . .	104
5.11 Diffusion des informations aux usagers de la route . . . . .	120
5.12 Effets des fondants . . . . .	136
6. Conclusions . . . . .	148



## 1. INTRODUCTION

La croissance industrielle et économique rapide de ces dernières décennies a favorisé l'établissement d'une infrastructure de support complexe dans la plupart des pays européens. Les routes constituent un élément vital de cette infrastructure et leur praticabilité permanente est essentielle au bien-être économique du continent.

Un entretien maîtrisable peut être prévu longtemps à l'avance et dépend essentiellement du volume de la circulation et des budgets régionaux. Il s'agit habituellement d'une simple action préventive et de réparations dues à l'usure normale. Toutefois, vu les variations saisonnières du climat européen, de longues périodes peuvent se caractériser par une influence profonde bien qu'intermittente des conditions climatiques sur le transport routier. Dans une certaine mesure, les conséquences d'un climat rigoureux sont prévisibles grâce à une interprétation minutieuse des données climatologiques.

Toutefois, les retards les plus minimes peuvent être lourds de conséquences et l'action doit être rapide et efficace pour minimiser les perturbations. Il ne fait aucun doute qu'une connaissance préalable des situations critiques entraînera une réaction plus efficace et plus économique face aux conditions météorologiques perturbatrices.

Outre les économies financières évidentes d'un entretien hivernal plus efficace, d'autres avantages se présentent sous la forme d'une meilleure sécurité et d'une moindre détérioration de l'environnement par l'application inutile d'agents chimiques.

Le responsable de l'entretien des routes dispose d'un nombre croissant d'outils sophistiqués qui combinent avec succès diverses technologies nouvelles et générales. Un savant dosage de la compétence technique des météorologistes et des installations modernes de contrôle et de visualisation de l'environnement lui donne les meilleurs moyens possibles pour optimiser les plus récentes techniques dont il ou elle dispose en matière de matériel et de gestion.

Le projet COST 309 vise à étudier l'état général des connaissances et des techniques dans l'application de la météorologie routière à l'entretien hivernal. L'étendue et la complexité de ce sujet ne permettent absolument pas de finaliser le rapport et nous espérons que, à l'avenir, ces points feront l'objet de recherches plus détaillées.

Le présent rapport s'inscrit dans le sillage d'un rapport de l'OCDE qui a tenté d'étudier la plupart des aspects du transport routier. Ce rapport traitait notamment de l'entretien hivernal (chimie des fondants). Le projet SHRP, actuellement mené aux Etats-Unis, constitue également une vaste action de recherche qui espère étudier la majorité des aspects du transport routier, y compris l'entretien hivernal.

Toutefois, le projet COST 309 traite spécifiquement de la météorologie routière et de l'entretien hivernal, surtout en ce qui concerne les services locaux responsables des routes; il combine en outre la compétence technique des météorologistes, des ingénieurs des ponts et chaussées et des fabricants d'instruments. Certains des résultats et des recommandations pourraient bien influencer les projets actuels d'information des usagers tels que DRIVE et PROMETHEUS.

## 2. CONTEXTE HISTORIQUE

Une collaboration internationale en matière de météorologie a toujours semblé naturelle, car les conditions climatiques ne sont régies par aucune frontière régionale. Dans les secteurs de la circulation routière, de l'entretien et de la construction des routes, la coopération internationale possède des traditions bien établies alors que la collaboration internationale dans le domaine de la météorologie des autoroutes ne remonte qu'au début des années 70, moment où elle a été intégrée dans la coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique (COST).

### 2.1. PROJET COST 30

Le projet COST 30 - aides électroniques à la circulation sur les grands axes routiers - a été lancé en 1970. Il visait globalement à améliorer la sécurité routière et l'écoulement de la circulation sur les routes à grande vitesse en encourageant l'utilisation d'aides électroniques à la circulation pour faciliter la détection des conditions de circulation routière et la communication avec les usagers. Le projet s'est particulièrement concentré sur le développement de spécifications fonctionnelles susceptibles de garantir une compatibilité internationale.

Le projet COST 30 fut divisé comme suit en neuf thèmes de recherche :

1. communication orale avec le conducteur à l'intérieur du véhicule,
2. communication à l'intérieur du véhicule par une présentation visuelle,
3. signes et signaux variables,
4. radiodiffusion d'informations sur la circulation,
5. besoins en informations des conducteurs et des services des ponts et chaussées,
6. détection automatique ou manuelle d'incidents affectant la circulation,
7. terminologie claire, correcte et univoque des messages dans les différentes langues,
8. détection automatique de mauvaises conditions météorologiques,
9. équipement des centres de contrôle et stratégies de contrôle, transmission de données, propositions d'une démonstration internationale.

### 2.1.1. COST 30 - THEME 8

Le thème 8 avait pour objectif de développer un système prototype en vue de prévoir, détecter et avertir des changements dangereux de la visibilité, de la vitesse du vent et du coefficient d'intensité des rafales, des risques de dérapage dus aux conditions climatiques et aux eaux de surface. Il visait également, d'une part, à examiner le problème des prévisions météorologiques à court terme et ses applications possibles à l'exploitation de réseaux routiers et, d'autre part, à étudier des moyens d'identification de "points noirs" météorologiques.

Le thème 8 traitait surtout du développement d'un système de détection de la météorologie routière comprenant un certain nombre de stations localisées pour contrôler la météorologie routière, où chaque station pourrait détecter automatiquement des conditions de météorologie routière sur une portion de route précise. Le système pourrait contrôler des points noirs particuliers ou être étendu à la couverture de points sélectionnés le long de la route, voire à l'intégralité du réseau routier. Il en résulterait des informations plus détaillées que celles actuellement proposées par les services météorologiques existants dont les conducteurs, les services d'entretien des routes et les services de contrôle de la circulation pourraient espérer bénéficier. Les informations du service météorologique et les données observées automatiquement aux stations de météorologie routière ont permis de prévoir la température à la surface de la route quelques heures à l'avance.

Le rapport final du projet COST 30 a été publié en 1981 et recommandait d'organiser une démonstration ou une expérience publique présentant les résultats du projet dans des conditions réelles et pratiques. Le rapport final suggérerait aussi de poursuivre certains thèmes, y compris le thème 8.

### 2.2. COST 30 PHASE BIS

Le projet COST 30 BIS a été lancé en avril 1982. Le rapport final du Comité COST 30 recommandait :

- l'organisation d'une démonstration publique d'un système de contrôle autoroutier sur un site existant aux Pays-Bas (portion d'autoroute au sud de La Haye) et
- la poursuite des recherches dans les domaines suivants :



- communications route/véhicule - utilisation de la microélectronique;
- recours à la bande publique dans les pays européens;
- détection automatique des incidents (DAI);
- radiodiffusion régionale d'informations routières;
- détection des conditions climatiques;
- signaux de circulation variables.

#### 2.2.1. COST 30 BIS : PROJET DE DEMONSTRATION

Le Comité de gestion du projet COST 30 a approuvé l'organisation d'une démonstration, car :

- elle confirmerait la faisabilité pratique dans un contexte international - impliquant une variété de conducteurs étrangers - des résultats déjà obtenus dans divers pays;
- elle garantirait la faisabilité de l'intégration d'éléments dans un système complet;
- elle montrerait le système complet à l'échelon international, permettant ainsi aux pouvoirs publics d'examiner l'impact total probable du système;
- elle analyserait l'efficacité et fournirait une meilleure évaluation des coûts et des avantages d'un système global et de ses composantes;
- elle permettrait d'évaluer la réaction du public vis-à-vis du système.

Le réseau autoroutier reliant Delft et Rotterdam (Pays-Bas), où les pouvoirs publics néerlandais installaient déjà un système de contrôle national, fut retenu pour la démonstration. Un équipement supplémentaire fut ajouté pour réaliser la démonstration internationale. Cette organisation incombait au groupe de planification de la démonstration. Celle-ci commença le premier mai 1983 et dura un an.

#### 2.2.1.1. Service de météorologie routière dans la démonstration

Les principaux objectifs du service de météorologie routière sont d'améliorer la sécurité routière, de réduire la circulation et les frais d'entretien et d'optimiser l'entretien des routes. Pour atteindre ces objectifs, le service des ponts et chaussées doit disposer d'un service de météorologie routière local et régional adapté de manière à être idéalement armé pour prévenir les chaussées glissantes par des actions appropriées et opportunes. De plus, lorsqu'ils sont sur la route, les conducteurs doivent recevoir des informations sur les conditions climatiques et routières par radio, télévision, téléphone et signes variables. Ils doivent aussi être en possession de prévisions pour planifier la durée de leurs déplacements et leurs itinéraires - surtout pour les déplacements professionnels.

Au cours de la démonstration, le système de contrôle de la circulation et le réseau de détection des conditions climatiques ont fonctionné séparément, en partie parce que les exigences de communication différaient et parce que les informations météorologiques n'ont pas servi à commuter automatiquement les signaux. Ces deux systèmes ont néanmoins été exploités par les mêmes personnes.

La détection météorologique a été assurée par deux systèmes différents : le système suisse d'avertissement anticipé de glace et un système plus compliqué à vidéotex auquel les Pays-Bas, l'Allemagne, la Finlande et la Suisse ont contribué.

Le système de service météorologique à vidéotex comprenait deux stations de météorologie routière automatiques reliées à l'ordinateur central du centre de contrôle de la circulation. Trois terminaux étaient disponibles pour ce système de service météorologique : le premier pour l'opérateur du centre de contrôle de la circulation de Delft, le deuxième pour le météorologiste de l'aéroport de Rotterdam et le troisième pour les spectateurs de la démonstration. L'ordinateur central était piloté par le logiciel finlandais - y compris procédures d'avertissement et modèle prévisionnel de la température à la surface de la route.

Le système suisse d'avertissement anticipé de glace se composait de deux stations extérieures équipées de capteurs, d'un récepteur et d'une unité de visualisation. Les informations fournies par ce système n'ont été utilisées que par l'opérateur de contrôle de la circulation.

L'équipement de détection météorologique a aidé en permanence les opérateurs à sélectionner le pictogramme approprié. Les informations des deux systèmes ont été régulièrement mises à jour et visualisées sur un terminal vidéo. En présence de conditions climatiques dangereuses, une alarme acoustique était émise.

Dans le système à vidéotex, les informations météorologiques émanant des stations étaient mises à jour toutes les minutes sous forme de graphiques et de tableaux. Le système exécutait aussi automatiquement les procédures d'avertissement en cas de faible visibilité, de forts vents latéraux et de gel de l'asphalte. Pour prévoir la température de la surface quelques heures à l'avance, les météorologistes de l'aéroport de Rotterdam ont appliqué une méthode basée sur le bilan énergétique. Ils ont aussi établi des prévisions régionales sur base des données de météorologie routière et des informations météorologiques traditionnelles pour assister le personnel d'entretien des routes. La prévision des conditions climatiques a surtout été précieuse pour planifier l'entretien des routes à court terme.

Le système d'avertissement anticipé de glace a appliqué trois niveaux d'alarme. Le niveau d'alarme 1 indiquait un danger de verglas uniquement dû aux conditions climatiques. Le niveau d'alarme 2 signalait que le fondant toujours présent sur la route n'était plus efficace. Il existe un risque de formation de verglas lorsque la température de la route continue de baisser. Le niveau d'alarme 3 correspondait à la formation de glace sur les capteurs ou à la disparition des fondants due à des précipitations atmosphériques.

#### **2.2.2. COST 30 BIS : THEME 2 Détection des conditions météorologiques**

Outre la démonstration, les problèmes de météorologie routière ont aussi été traités sous le thème 2 du projet Cost 30 bis. Ce thème visait à examiner le problème de prévisions météorologiques à court terme et leurs répercussions sur l'entretien des routes, le comportement des automobilistes, l'identification des "points noirs" liés aux intempéries et la communication avec les conducteurs pour les avertir de conditions dangereuses. Comme le thème 2 reposait surtout sur un travail de correspondance, les résultats de ce sous-projet n'ont reflété que l'état des connaissances et des techniques dans les pays participants.

En juin 1985, un Séminaire international sur l'électronique et la circulation sur les grands axes routiers s'est tenu au siège de l'OCDE à Paris. Le rapport final du projet COST 30 BIS a été présenté à cette occasion et un débat sur les résultats et les activités futures a été organisé.

### 2.3. SIRWEC - COMMISSION INTERNATIONALE PERMANENTE DE METEOROLOGIE ROUTIERE

Au cours de la phase finale de la démonstration réalisée aux Pays-Bas, une Conférence internationale sur la météorologie routière s'est tenue à Delft et à La Haye en février 1984. La conférence était organisée par le comité responsable du thème 2 - détection des conditions météorologiques - du projet COST 30 BIS.

Lors des discussions de clôture du projet COST 30 BIS, l'assemblée a nommé un comité de direction bénévole, constitué sur une base ad hoc, pour établir un calendrier de coopération future. Les résultats de la démonstration, le travail de recherche et la conférence ont montré l'urgence de nouvelles recherches et d'une coopération internationale dans le domaine de la météorologie routière.

Une constitution de la Commission européenne permanente de météorologie routière a été approuvée par la deuxième Conférence internationale sur la météorologie routière (Copenhague, 1985).

Les troisième et quatrième Conférences internationales sur la météorologie routière se sont respectivement tenues à Tampere, Finlande, en 1986 et à Florence, Italie, en 1988.

Lors de la cinquième Conférence internationale sur la météorologie routière (Tromsø, Norvège, 1990), la Commission européenne permanente de météorologie routière a été rebaptisée Commission internationale permanente de météorologie routière (SIRWEC).

Lors du Séminaire international sur l'électronique et la circulation sur les grands axes routiers (Paris, juin 1985), à l'occasion duquel le projet COST 30 BIS fut clôturé, des projets d'activités futures ont été exposés. Au cours de la séance de clôture du séminaire COST, le président du Comité technique des transports COST a exposé les points suivants :

1. La recherche et le développement sont nécessaires dans le domaine de la météorologie routière pour améliorer la sécurité routière et contribuer à l'entretien hivernal des routes.
2. Compte tenu des ressources nécessaires et du besoin d'harmonisation et de normalisation, une coopération est grandement souhaitable en matière de recherche.
3. Voici des exemples de sujets de recherche importants :
  - détection et prévision à court terme de l'état de la surface de la route;
  - diffusion d'informations routières et météorologiques.
4. Il serait grandement souhaitable que la SERWEC prépare une proposition pour cette nouvelle action de recherche.

Lors de la réunion de juin 1985, le Comité de direction de SERWEC a décidé de proposer un nouveau projet au Comité technique des transports (CTT) du projet COST (officiellement par le biais de la délégation finlandaise).

### 3. PRINCIPAUX OBJECTIFS DU PROJET

Le projet vise, d'une part, à améliorer la sécurité routière et l'écoulement de la circulation et, d'autre part, à réduire les coûts d'entretien hivernal des routes et la pollution du milieu ambiant.

Lorsque le projet COST 309 a été décidé, le Comité des transports du projet COST a fixé les objectifs suivants :

- étudier les méthodes les plus efficaces pour, d'une part, détecter, prévoir et représenter les conditions de circulation routière liées à des conditions climatiques dangereuses et, d'autre part, prendre des mesures pour améliorer leurs effets;
- quantifier les coûts et les avantages de méthodes et d'actions de ce type;
- recommander des domaines dans lesquels une recherche commune peut être mise en oeuvre et des normes d'exploitation communes peuvent être établies.

Les principaux sujets de recherche du projet COST 309 ont été définis comme suit :

1. détection dans le domaine de la météorologie routière
2. prévision de météorologie routière
3. statistiques de météorologie routière et
4. stratégies des services de météorologie routière.

#### 4. ORGANISATION DU TRAVAIL DU PROJET COST 309

La proposition du projet COST 309 a été approuvée par le CTT en octobre 1986. La déclaration commune d'intention pour la mise en oeuvre d'une action de recherche européenne sur la météorologie routière (projet COST 309) a été signée par 11 pays : Autriche, Danemark, Espagne, Finlande, France, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

La durée du projet a été fixée à trois ans à compter du printemps 1987. Il a été décidé de diviser le projet en trois phases. La phase 1 vise, d'une part, à énumérer et à évaluer les études passées et actuelles liées à chacun des sujets et, d'autre part, à définir des projets spécifiques requérant un éventuel travail de coopération. La durée de la phase 1 a été fixée à 6 mois. Au cours de la phase 2 - de l'automne 1987 à l'automne 1989 -, le Comité de gestion du projet devait, d'une part, mettre en oeuvre des actions de recherche communes en vue d'une discussion portant sur l'élaboration de normes communes pour un échange d'information pratique et, d'autre part, susciter des ateliers sur des sujets d'intérêt particulier.

La phase 3 - au cours des 6 derniers mois - était réservée à l'analyse globale des résultats et à l'élaboration du rapport final et de la recommandation des techniques à appliquer et des normes à adopter.

A l'automne 1989, le Comité des hauts fonctionnaires du projet COST a décidé de prolonger la durée du projet jusqu'à la fin de l'année 1990. La principale raison de cette prolongation résidait dans la clémence des conditions climatiques de l'hiver 1988-1989 en Europe. Toutefois, l'hiver 1989-1990 n'y a pas été plus rigoureux.

Le Comité de gestion du projet COST 309 a décidé de mettre en oeuvre le travail de recherche sur plusieurs thèmes coordonnés par des pays différents.

Les thèmes, les coordonnateurs et les objectifs des thèmes de recherche sont les suivants :

##### 1. Capteurs et systèmes de mesure (Suède)

L'objectif de ce thème était de développer des méthodes de comparaison de divers capteurs et de mettre au point de nouveaux capteurs de mesure des conditions de circulation routière, p. ex. point de gel, concentration de fondant, etc.

##### 2. Systèmes globaux, cartographie thermique, transmission de données (Royaume-Uni)

L'objectif de ce thème était d'étendre les études aux systèmes globaux pour optimiser un réseau de capteurs bien situés, utiliser toutes les informations météorologiques et routières disponibles en vue d'identifier les portions de

route où les conditions climatiques sont surtout à l'origine d'accidents, ce qui pourrait contribuer à planifier l'installation d'avertisseurs, de stations de météorologie routière et l'utilisation de revêtements favorisant le dégel. Il visait aussi à évaluer les divers types de transmission des données, leur fiabilité et leur rentabilité ainsi que la compatibilité de différents systèmes.

### 3. Détection et prévision de brouillard (France)

L'objectif de ce thème était de développer de nouveaux capteurs de mesure de la visibilité et de nouvelles méthodes de prévision du brouillard.

### 4. Radar météorologique (Comité de gestion/Finlande)

L'objectif de ce thème était d'étudier l'utilité d'informations émanant d'un radar météorologique pour la prévision de la météorologie routière et une utilisation par les responsables de l'entretien des routes. Une coopération avec le projet COST 73 - traitant du réseau de radars météorologiques - a été recommandée.

### 5. Prévision à court terme, prévision des conditions de circulation routière (Suède)

L'objectif de ce thème était d'évaluer des méthodes de prévision à court terme (12 heures environ) et à très court terme (1-3 heures) de paramètres de météorologie routière significatifs en des points sélectionnés du réseau routier.

L'objectif était aussi d'étendre cette évaluation à la prévision des conditions de circulation routière et de développer des modèles décrivant l'état de la surface de la route en fonction du volume de circulation, de paramètres météorologiques, de conditions climatiques et des travaux routiers. Pareil modèle vise à réaliser des analyses théoriques de divers éléments d'entretien (y compris l'épandage de sel) pour optimiser les ressources employées.

### 6. Atlas météorologique (Danemark)

L'objectif de ce thème était de définir un atlas météorologique normalisé sur une base nationale pour fournir des informations sur les conditions climatiques hivernales. Cet outil pourrait s'avérer précieux pour comparer les méthodes et les ressources consacrées à l'entretien hivernal des routes.

### 7. Conditions climatiques et accidents (Norvège)

L'objectif de ce thème était d'établir une pratique d'enregistrement normalisée des accidents de la route, des conditions climatiques et des conditions de circulation routière. Elle pourrait constituer une base de données utile pour évaluer l'adéquation et le rapport coûts/avantages de diverses mesures prises dans le cadre des activités d'entretien des routes en fonction de données météorologiques.

8. Analyses coûts/avantages d'un service de météorologie routière (Finlande)

L'objectif de ce thème était d'élaborer des méthodes et de réaliser des études en vue de quantifier les avantages et les coûts de services de météorologie routière. Celles-ci devraient couvrir le rapport avantages/coûts des pouvoirs publics et des usagers de la route, les coûts des accidents et de la pollution de l'environnement.

9. Communication entre les météorologistes et les services d'entretien des routes (Pays-Bas)

L'objectif de ce thème était d'encourager une meilleure utilisation par le personnel d'entretien des routes des informations fournies par le service météorologique et les stations météorologiques locales. Il incluait une évaluation de l'application de nouveaux systèmes d'information et l'élaboration de programmes et manuels de formation.

10. Diffusion des informations entre les services météorologiques (France)

11. Diffusion des informations aux usagers de la route (Suisse)

L'objectif des thèmes 10 et 11 était d'évaluer les types d'informations qui pourraient servir aux usagers de la route et les méthodes techniques de diffusion compte tenu des aspects légaux. Ces thèmes visent aussi à donner aux usagers de la route des informations sur les conditions de circulation routière dans les pays limitrophes. Pour ce faire, il est nécessaire de normaliser les informations de météorologie routière (effectives et prévisibles) à transmettre entre les centres nationaux et aux usagers de la route par le biais de divers types de moyens. Ce thème comprenait aussi la normalisation de la terminologie servant à décrire des états particuliers de la surface de la route.

12. Effets des fondants (Comité de gestion/Autriche)

L'objectif de ce thème était, d'une part, d'évaluer la meilleure application des données météorologiques à l'optimisation de l'épandage de sel et, d'autre part, de déterminer les effets des fondants dans diverses conditions météorologiques (neige, glace, brouillard, pluie, vent et températures). Ce problème a aussi été traité dans le cadre du travail de recherche de l'OCDE.



#### 4. ORGANISATION DU TRAVAIL DU PROJET COST 309

La proposition du projet COST 309 a été approuvée par le CTT en octobre 1986. La déclaration commune d'intention pour la mise en oeuvre d'une action de recherche européenne sur la météorologie routière (projet COST 309) a été signée par 11 pays : Autriche, Danemark, Espagne, Finlande, France, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

La durée du projet a été fixée à trois ans à compter du printemps 1987. Il a été décidé de diviser le projet en trois phases. La phase 1 vise, d'une part, à énumérer et à évaluer les études passées et actuelles liées à chacun des sujets et, d'autre part, à définir des projets spécifiques requérant un éventuel travail de coopération. La durée de la phase 1 a été fixée à 6 mois. Au cours de la phase 2 - de l'automne 1987 à l'automne 1989 -, le Comité de gestion du projet devait, d'une part, mettre en oeuvre des actions de recherche communes en vue d'une discussion portant sur l'élaboration de normes communes pour un échange d'information pratique et, d'autre part, susciter des ateliers sur des sujets d'intérêt particulier.

La phase 3 - au cours des 6 derniers mois - était réservée à l'analyse globale des résultats et à l'élaboration du rapport final et de la recommandation des techniques à appliquer et des normes à adopter.

A l'automne 1989, le Comité des hauts fonctionnaires du projet COST a décidé de prolonger la durée du projet jusqu'à la fin de l'année 1990. La principale raison de cette prolongation résidait dans la clémence des conditions climatiques de l'hiver 1988-1989 en Europe. Toutefois, l'hiver 1989-1990 n'y a pas été plus rigoureux.

Le Comité de gestion du projet COST 309 a décidé de mettre en oeuvre le travail de recherche sur plusieurs thèmes coordonnés par des pays différents.

Les thèmes, les coordonnateurs et les objectifs des thèmes de recherche sont les suivants :

##### 1. Capteurs et systèmes de mesure (Suède)

L'objectif de ce thème était de développer des méthodes de comparaison de divers capteurs et de mettre au point de nouveaux capteurs de mesure des conditions de circulation routière, p. ex. point de gel, concentration de fondant, etc.

##### 2. Systèmes globaux, cartographie thermique, transmission de données (Royaume-Uni)

L'objectif de ce thème était d'étendre les études aux systèmes globaux pour optimiser un réseau de capteurs bien situés, utiliser toutes les informations météorologiques et routières disponibles en vue d'identifier les portions de

## 5. RAPPORTS DES GROUPES DE TRAVAIL

### 5.1. Capteurs et systèmes de mesure

Voici un résumé du rapport du projet COST 309 "Essai de systèmes de contrôle de la météorologie routière et de capteurs". Pour obtenir le rapport complet, veuillez vous adresser à l'administration nationale suédoise des ponts et chaussées (Swedish National Road Administration [SNRA]).

#### 5.1.1. Introduction

Les essais visaient à décrire en détail les divers systèmes et capteurs disponibles pour contrôler la météorologie routière. Dans le cadre du projet, il était impossible de déterminer globalement le meilleur système ou capteur. Cela dépend de facteurs tels que le climat régional, l'exécution de l'entretien hivernal, les ambitions, etc. Par conséquent, le rapport se contente de présenter les équipements disponibles, de commenter les diverses techniques appliquées et d'émettre quelques remarques sur la mesure de divers paramètres.

Vingt-sept constructeurs (se reporter à l'annexe 1) ont été directement conviés à participer; de plus, les divers délégués du projet COST 309 ont été priés de transmettre l'invitation. Enfin, une invitation est parue dans le Newsletter Highway Meteorology de la SERWEC. Les équipements essayés figurent à l'annexe 2.

#### 5.1.2. Conditions d'essai

Les essais ont été exécutés sur une autoroute à quatre voies à Surte, 15 km au nord de Göteborg. Dans la région, l'apparition du verglas sur les routes résulte du froid et du gel de routes humides. Les chutes de neige engendrent aussi des conditions de circulation routière pénibles. Les services d'entretien des routes utilisent du sel humide pour éviter la formation de verglas; le sel sec n'est employé que lors de chutes de neige. Le déneigement s'opère avec des lames en acier et en caoutchouc.

Le climat de la région est légèrement maritime et la période critique pour le verglas s'étend d'octobre à mai. Les essais sur le terrain ont principalement porté sur l'hiver 1989/1990, mais certains essais avaient été réalisés au cours des années antérieures. L'hiver 1989/1990 a été plus chaud que la normale.

Un enregistreur chronologique CR 10 de la société Campbell a reçu et stocké les données de tous les capteurs. Les données de la plupart des systèmes complets ont été transmises en permanence par ligne téléphonique et stockées à distance. Les observations météorologiques et routières de routine ont été relevées presque tous les jours.

### 5.1.3. Systèmes de contrôle essayés

#### van den Berg BV & BG Engineering Système d'avertissement de glace

Le système néerlandais d'avertissement de glace, fabriqué par la société van den Berg and BG Engineering, est un système complet de contrôle de la météorologie routière. Les données sont collectées à partir de plusieurs stations extérieures et contrôlées sur un ordinateur personnel classique. La communication s'effectue par ligne téléphonique. Les données de météorologie routière mesurées et les informations stockées manuellement (p. ex. les bulletins météorologiques, les épandages de sel, etc.) sont diffusées. Le système traite les alarmes et appelle automatiquement les responsables de l'entretien des routes selon certains critères. Aux Pays-Bas, un système national est en cours d'installation; il se composera de 350 stations extérieures et de 30 mini-unités centrales. A l'heure actuelle, 150 stations sont déjà installées.

Les stations extérieures sont habituellement équipées de capteurs mesurant la température de la surface, la température de l'air, l'état de la surface de la route, l'humidité de l'air, le vent et les précipitations atmosphériques. Le capteur relevant l'état de la route mesure la conductivité de l'émulsion superficielle et fournit des informations sur les conditions de circulation routière, particulièrement lorsque ces conditions changent.

L'unité centrale peut délivrer des informations (tableaux et graphiques) provenant de 16 stations équipées chacune de 24 voies. Les données sont visualisées ou imprimées. Tous les programmes de communication sont conviviaux.

Les stations extérieures traitent les alarmes et, dans certaines conditions, appellent des numéros de téléphone préprogrammés. Les alarmes concernent des paramètres tels que la température de la route, la température au point de rosée, la conductivité de la route et les précipitations atmosphériques. Les critères d'alarme peuvent être aisément modifiés à distance. Le système calcule une prévision d'une heure pour la température (route et air), l'humidité de l'air et la conductivité de la route.

#### Système de contrôle météorologique CDS/Campbell

L'enregistreur chronologique CR 10 de la société Campbell est un enregistreur chronologique général moderne qui est équipé de diverses applications. L'enregistreur proprement dit est compact, solide et très précis.

En standard, l'enregistreur chronologique est équipé de 10 - 20 entrées - selon la précision -, mais ce nombre peut être porté à 192 maximum. Il possède 12 sorties. Lors des essais sur le terrain, l'enregistreur a été équipé de

capteurs mesurant la température de l'air, la température de la route, l'humidité de l'air et le vent, mais plusieurs autres capteurs sont disponibles. Une interface RS232 assure la communication et les données peuvent être transmises par ligne directe, réseau téléphonique public, radio ou satellite. L'enregistreur chronologique peut être programmé à distance. L'alimentation électrique est assurée par des programmes supportant le réseau 110/220 V~, des piles, des piles solaires ou des génératrices éoliennes.

Un progiciel éprouvé est parfaitement adapté à l'enregistreur chronologique CR 10. Il permet de programmer l'enregistreur ainsi que de récupérer et de traiter les données mémorisées. Le système de contrôle peut être conçu de manière que plusieurs stations appellent une unité centrale et lui transmettent des données. L'enregistreur chronologique peut aussi tester certains critères d'alarme et appeler automatiquement une alarme sur des numéros préprogrammés via un modem à synthétiseur de parole.

#### Système d'informations de météorologie routière de la société FFV

Les machines du système suédois d'informations de météorologie routière sont conçues par la société FFV pour le compte de l'administration nationale suédoise des ponts et chaussées (SNRA). Le système est opérationnel en Suède depuis 1979. Il compte aujourd'hui 500 stations reliées entre elles.

Les stations extérieures sont équipées de capteurs mesurant la température de l'air, la température de la route, l'humidité de l'air, le vent et les précipitations atmosphériques. Des capteurs sont aussi disponibles pour l'état des routes et la température au point de gel. Les stations possèdent en tout 31 entrées, 18 sorties et deux portes de communication série. Le système est normalement conçu pour le courant 110 V~ ou 220 V~, mais il peut aussi être alimenté par des piles solaires ou des génératrices éoliennes.

Toutes les 30 minutes, l'unité centrale sur ordinateur personnel collecte normalement les données de 75 stations extérieures maximum. L'unité centrale diffuse alors les informations aux usagers qui la reçoivent sur un terminal informatique ou vidéotex. L'unité centrale peut aussi être appelée au moyen d'un téléphone traditionnel et le synthétiseur de parole fournit alors des informations en langage clair sur les conditions de circulation routière.

La station et l'unité centrale traitent toutes deux des alarmes. Selon certains critères, des numéros de téléphone préprogrammés sont appelés et, via le synthétiseur de parole, le système génère une alarme par téléphone ou par un système de télécopie.

L'unité centrale exécute une prévision de quatre heures pour la température de la route et la température du point de rosée.

## Station météorologique Thies

La station météorologique Thies essayée n'était pas spécialement conçue pour contrôler la météorologie routière. Toutefois, cette station météorologique générale, qui communique par ligne téléphonique, peut s'acquitter de cette tâche. La société Thies GmbH propose une très vaste gamme de capteurs. Les machines et logiciels de la société Thies reposent sur une conception modulaire; il est donc possible de développer un système spécifique pour certaines applications.

### 5.1.4. Capteurs essayés

#### Température de la route

Aucune évaluation générale n'a été exécutée sur les capteurs de température de la route, car tous les capteurs disponibles sont généralement précis. Toutefois, le capteur de température de la route est probablement le seul à revêtir une importance vitale dans un système de contrôle routier. Il doit donc faire l'objet d'une attention particulière.

La mesure de la température de la route pose un problème : la température varie en fonction de facteurs climatiques locaux et du microclimat de la route. Il fait généralement plus chaud sur la bande lente et plus froid entre les bandes ou sur l'accotement.

#### Humidité de l'air

Deux transmetteurs d'humidité de la société Rotronic ont été essayés : les sondes YA-100 et MP-100F. Les deux sondes sont équipées d'un capteur Hygrometer (hygrométrique) mesurant l'humidité entre 0 % et 100 %. Pendant plusieurs années, la SNRA a testé la sonde YA-100 et, à long terme, cet instrument s'est avéré stable et précis. Le transmetteur mesure aussi la température via un capteur Pt100.

Le transmetteur hygrothermique de la société Thies qui a été essayé est pourvu d'un élément capillaire servant de capteur d'humidité, mais la société Thies livre aussi des capteurs électroniques. La longueur du capillaire varie en fonction des changements d'humidité et ce changement est transféré à un potentiomètre. Les hygromètres capillaires sont habituellement plus lents que les appareils électroniques. Toutefois, ce facteur ne limite sûrement pas le contrôle de la météorologie routière.

Le transmetteur d'humidité de la société Ultracust mesure, d'une part, l'humidité relative avec un capteur capacitif et, d'autre part, la température ambiante avec un élément Pt100. Le capteur peut être monté dans le boîtier du transmetteur ou séparé de celui-ci. Cette dernière solution est préconisée, car le transmetteur doit être protégé des basses températures.

Le système de contrôle routier FFV recourt à un hygromètre capillaire de la société Lambrechts - 809L-100 - qui est identique à l'hygromètre de la société Friedrich. Ce capteur a aussi été étudié à Surte. Le transmetteur utilise un élément capillaire en matière plastique. L'administration suédoise des ponts et chaussées (SNRA) possède une bonne expérience de ces capteurs et les utilise depuis plusieurs années.

#### Point de gel et état de la route

Le capteur d'état de la route de la société BG Engineering qui a été essayé mesure la conductivité de l'émulsion à la surface de la route grâce à deux tuyaux métalliques concentriques. Une conductivité élevée indique que la surface est humide et salée, une valeur moyenne signifie une route humide et une faible conductivité correspond à une route sèche. Sur une surface gelée, la conductivité varie de très faible à moyenne. Il est difficile de déterminer l'état de la route à partir d'une seule valeur de conductivité. La représentation graphique de la conductivité montre parfaitement les variations de l'état de la route, le système de la société BG Engineering emploie aussi ce type de visualisation.

Le capteur de gel Frensor de la société FFV est un appareil actif dans lequel le capteur est refroidi et chauffé cycliquement. Il détecte l'apparition du gel et détermine ainsi le point de gel réel. La précision est inférieure à 0,5 °C. Un grand avantage réside en ce que cette technique ne tient pas compte de la cause de l'abaissement du point de gel - qu'il s'agisse de sel ordinaire, de CMA ou d'un autre facteur : l'appareil teste vraiment le point de gel.

Le capteur d'état de la route de la société Rails est similaire au capteur de BG Engineering. Toutefois, le signal de sortie n'est pas la conductivité mais un signal marche/arrêt. L'humidité shunte le circuit de détection et active un relais qui, à son tour, transmet une alarme. Le système n'est actif que lorsque la température descend sous un seuil critique; ce seuil est modifiable. L'emploi de deux capteurs - dont un chauffé - doit permettre de distinguer entre divers états de la route.

Le capteur Vibrometer établit la distinction entre une surface sèche, humide et gelée (couverte de gel). Il détecte aussi l'épaisseur de la surface (eau ou glace). Le capteur est refroidi et réchauffé cycliquement par un élément Peltier. L'appareil détecte le passage de l'eau de la phase liquide à la phase solide et inversement. La température mesurée à ce moment est la température du point de gel. La précision a été très bonne lors de la détermination de l'épaisseur du film superficiel et de la température du point de gel. A l'instar du capteur de gel Frensor, il importe peu de connaître les causes de l'abaissement de la température au point de gel.

## Précipitations atmosphériques

Le détecteur de pluie de la société  Rails  enregistre l'apparition des précipitations atmosphériques. Une grille de la tête de sondage est chauffée en permanence à une température contrôlée pour éviter l'humidité (rosée) et faire fondre la neige. Lorsque l'élément recueille de la pluie ou de la neige fondante, il court-circuite un circuit et transmet une alarme. L'appareil n'était pas équipé d'un brise-vent, élément vital dans des conditions plus froides et venteuses.

Deux types de détecteurs de pluie de la société  Thies  ont été analysés. En présence de précipitations atmosphériques, l'eau établit une connexion conductrice entre deux électrodes du capteur et émet un signal. Un système de chauffage diphasé est présent : la première phase à faible puissance pour éviter la formation de rosée et faire fondre la neige, la seconde à grande puissance pour sécher l'appareil lors de l'enregistrement de précipitations atmosphériques. Un des capteurs essayés présentait des niveaux constants pour ces deux chauffages. Pour l'autre capteur, ce facteur dépendait de la température extérieure. Lorsqu'il fait froid, il importe d'accroître l'effet de chauffage; sinon, les faibles chutes de neige ne sont pas enregistrées.

Enfin, deux pluviomètres de la société  Thies  enregistrant le volume des précipitations atmosphériques ont été essayés. Les précipitations touchent un collecteur et pénètrent dans une échelle basculante. Lorsqu'un certain volume de précipitation est récolté, l'échelle bascule et se vide. La résolution des pluviomètres s'élève à 0,1 mm et l'intensité maximale à 7 mm/heure (n° 30.005). Les pluviomètres sont chauffés pour faire fondre la neige. Les capteurs ne détectent parfois pas de très faibles précipitations, particulièrement lors de chutes de neige.

## Vent

Le capteur de vent Wind Mark III de la société  Climatronics  qui a été essayé est un capteur robuste et précis qui mesure la vitesse et la direction du vent. La vitesse et la direction du vent sont respectivement mesurées par un anémomètre à 3 coquilles en croix et une girouette. La plage d'utilisation du cinémamètre du vent est comprise entre 0 et 55 m/s et le seuil de vitesse est égal à 0,45 m/s. Comme les données sont traitées dans l'appareil, le transmetteur de vent peut être monté à 150 m de la station extérieure.

Le transmetteur de vent de la société  Thies  qui a été essayé mesure la vitesse et la direction du vent via un anémomètre à 3 coquilles en croix et une girouette. Sa plage de mesure est comprise entre 0,3 et 40 m/s.

Les transmetteurs de vent de la société Friedrich se composaient de deux unités distinctes pour la vitesse et la direction du vent; ils étaient équipés d'un anémomètre à 3 coquilles en croix et d'une girouette. La plage spécifiée est comprise entre 0 et 41 m/s, le seuil de vitesse étant égal à 0,8 m/s.

Comme le détecteur de vent de la société Young essayé a initialement été conçu pour les bouées d'acquisition de données océaniques, il convient parfaitement pour le rude climat des routes. Le capteur de vitesse du vent est une hélice hélicoïdale moulée de plastique de polypropylène. L'hélice est montée sur la girouette. Le seuil de vitesse spécifié est égal à 0,7 m/s.

#### Visibilité

VrmeTeknisk Analys, une entreprise de Göteborg, a mis au point un appareil de mesure de la visibilité que nous avons essayé. Un essai plus complet des capteurs de visibilité est exécuté par l'administration française des ponts et chaussées. Le transmetteur de visibilité de la société VTA comprend un émetteur IR à rayon laser et un récepteur. Le rayon laser est rétrofléchi sur la poussière et les gouttelettes de l'atmosphère et la rétro réflexion mesure la visibilité. L'appareil peut émettre une alarme si la visibilité est inférieure à une certaine largeur, envoyer un signal analogique correspondant à la visibilité en mètres ou faire les deux.

#### 5.1.5. Conclusions

L'administration nationale suédoise des ponts et chaussées (SNRA) et la société BERGAB Climate Consultants essaient et étudient depuis 1976 des équipements de contrôle des conditions de circulation routière. Au fil des ans, des matériels ont été essayés et des programmes logiciels (alarmes, prévisions, etc.) mis au point et évalués.

Le présent rapport est un résumé du rapport principal sur les essais d'équipements de contrôle des conditions de circulation routière exécutés dans le cadre du projet COST 309. Le rapport final peut être obtenu auprès de la SNRA. Pour de plus amples informations, contactez la SNRA ou BERGAB.

#### Adresses

Swedish National Road Administration (SNRA)

M. Lars Primodig

781 87 BORLNGE, SUEDE



BERGAB Climate Consultants  
Dr. Torbjorn Gustavsson  
S:t Pauligatan 33 A  
416 60 GOTHENBURG, SUEDE

Göteborg, le 31 octobre 1990

BERGAB Climate Consultants

Dr. Goran Loman

Les sociétés suivantes ont été directement invitées :

Aanderaa Instruments, Bergen, Norvège  
ANT Nachrichtentechnik, Backnang, Allemagne  
BG-International bv, Rotterdam, Pays-Bas  
Böschung Mecatronic AG, Schmittlen, Suisse  
CDS, Skara, Suède  
Climatronics Corp., Bohemia NY, Etats-Unis  
F:a Vrmetekniska Analys, Göteborg, Suède  
FerroNordic, Stockholm, Suède  
FFV Aerotech, Östersund, Suède  
Friedrich, Schenefeld, Allemagne  
ICEL AB, Lidingö, Stockholm  
ICELERT Findlay Ltd, Midlothian, Ecosse  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France  
Lambrecht GmbH, Göttingen, Allemagne  
Malling Kontroll A/S, Hvidovre, Danemark  
NIDO-Universal Machines bv, Holten, Pays-Bas  
Rotronic AG, Zürich, Suisse  
S.A. Sermo Electronique, Metz, France  
Scanmatic, St Aube, Norvège  
Swema, Farsta, Suède  
Svenska Termoinstrument AB, Stockholm, Suède  
Strassen- und Flugfeldgerde GmbH, Hanovre, Allemagne  
Thies, Göttingen, Allemagne  
TJELElectronic AB, Lidingö, Suède  
Vaisala YO, Helsinki, Finlande  
Ultracust, Ruhmannsfelden, Allemagne  
Wild, Stockholm, Suède

Les appareils suivants ont été essayés :

#### SYSTEMES DE CONTROLE COMPLETS

Système d'avertissement de glace de la société van den Berg BV & BG Engineering

Système de contrôle des conditions climatiques des sociétés CDS/Campbell

Système d'information de météorologie routière de la société FFV

Système de contrôle des conditions climatiques de la société Thies

#### TRANSMETTEURS D'HUMIDITE

YA-100 de la société Rotronic

MP100-F de la société Rotronic

Transmetteur hygrothermique de la société Thies

Transmetteur d'humidité 4326-7 de la société Ultracust

809L-100 de la société Lambrecht (société Friedrich)

#### TRANSMETTEURS DU POINT DE GEL ET DE L'ETAT DE LA ROUTE

Capteur des conditions de circulation routière de la société BG Engineering

Capteur Frensor de la société FFV

Capteur des conditions de circulation routière de la société Rails

Capteur du point de gel/des conditions de circulation routière Vibrometer

#### TRANSMETTEURS DE PRECIPITATIONS ATMOSPHERIQUES

Détecteur de pluie Rails

Détecteur de pluie 5.4102.50.009 de la société Thies

Détecteur de pluie 5.4102.50.001 de la société Thies

Pluviomètre 5.4031.30.000 de la société Thies

Pluviomètre 5.4031.30.005 de la société Thies

#### TRANSMETTEURS DE VENT

Wind Mark III de la société Climatronics

Transmetteur combiné de la vitesse du vent de la société Thies

Transmetteur de direction du vent de la société Friedrich

Détecteur de vent 05103 de la société Young

#### VISIBILITE

Visibilimètre de la société VTA

## **5.2. Systèmes globaux, cartographie thermique, transmission de données**

### **5.2.1. Systèmes globaux**

Les systèmes de détection/prévision de glace intégrés constituent indubitablement un outil précieux pour un entretien hivernal plus sûr et plus rentable. Leur rentabilité a fait l'objet de nombreux documents.

Il est dès lors recommandé de les utiliser, de les étendre et de les développer en permanence.

Les capteurs représentent une partie vitale de ces systèmes et la configuration de l'installation contribue énormément au succès du système. Ils doivent fournir un bon profil climatologique de la région concernée en se référant à des zones problématiques spécifiques. La cartographie thermique peut servir de base aux plans d'installation, mais il est aussi très important de consulter le service météorologique compétent. L'exposition météorologique doit être correcte pour obtenir des relevés vraiment représentatifs et en accord avec les données des autres capteurs. Au Royaume-Uni, le Ministère des transports (MdT) a préparé une définition - disponible sur demande - de l'implantation des capteurs. Il existe aussi une définition de la cartographie thermique qui pourrait servir de point de départ à une norme paneuropéenne. Semblable norme faciliterait le transport des données numérisées de la carte thermique entre divers systèmes.

Les données prévisionnelles sont capitales pour permettre une pleine utilisation de systèmes d'entretien hivernal modernes. Il est recommandé d'encore affiner les prévisions et de poursuivre les recherches dans cette voie en accordant une attention particulière aux produits-clés tels que les prévisions de la température à la surface de la route (TSR). Il convient de poursuivre l'amélioration des performances des modèles de prévision TSR et d'évaluer les avantages relatifs de divers systèmes, principalement statistiques et dynamiques. La meilleure réponse pourrait parfaitement combiner des méthodes statistiques à une correction dynamique pour traiter le problème des anomalies propres aux sites.

Les recherches sont peu avancées dans le domaine important de la détermination rigoureuse d'une température de la surface de la route et de la définition de méthodes de mesure acceptables. Alors que, pour de nombreux fabricants d'instruments, il s'agit déjà d'une chose naturelle, une certaine forme de définition peut s'avérer nécessaire vu le déploiement accru des applications. Les recommandations devraient aussi tenir compte de l'interaction avec des modèles de TSR, en particulier pour l'installation de capteurs de profondeur.

Il convient d'encourager une recherche active en matière de méthodes de prévision de situations critiques telles que la glace, la neige, le brouillard et le vent. Les techniques de prévision sur courte période sont aussi importantes pour l'entretien hivernal et leurs interactions avec des outils de contrôle complexes, tels que les images radar et satellite, permettront des développements utiles.

L'objectif à long terme devrait consister à intégrer toutes ces données dans un protocole commun, mais cette intégration constituera une action essentielle et requerra des ressources considérables. Il faudra tenir compte du développement de systèmes d'information de bord qui en est encore à ses balbutiements.

L'emploi de données climatologiques et de techniques statistiques devrait être encouragé et la recherche devrait s'orienter vers la méthodologie. Plusieurs applications impliquent de concevoir des atlas météorologiques et de demander des conseils sur l'implantation des capteurs et avertisseurs.

Au Royaume-Uni, les services consultatifs de l'Office météorologique ont récemment préparé (grâce à leur vaste banque de données climatologiques) une étude sur la M25 (boulevard périphérique de Londres) pour le compte du Ministère des transports en vue de sélectionner l'emplacement le plus efficace d'un certain nombre de détecteurs de brouillard qui sont maintenant en service. Ce type d'étude peut notamment être étendu aux régions sujettes au gel et aux modèles topographiques réduits qui pourraient influencer l'installation stratégique de pare-neiges. Pour de plus amples informations sur ce service, contactez le siège de l'Office météorologique à Bracknell.

Les prévisions de température à la surface de la route font partie intégrante de la plupart des systèmes modernes et y occupent une place de choix. Toutefois, leur élaboration est souvent onéreuse, surtout en ce qui concerne le temps des prévisionnistes. Pour l'hiver 1990/1991, l'Office météorologique britannique expérimentera des prévisions TSR entièrement automatisées (spécifiques aux sites) qui s'étaleront sur 24 heures (12 heures à 12 heures) et porteront sur 170 sites environ au Royaume-Uni. Les prévisions seront directement issues du modèle Mesoscale de l'Office météorologique (un modèle numérique de prévision météorologique à très haute résolution). Les informations du modèle propres au site serviront à piloter une version du modèle de bilan thermique existant de l'Office météorologique. L'expérience sera évaluée au cours du printemps et de l'été de l'année 1991 et une application complète et plus étendue pourrait être mise en oeuvre pour l'hiver suivant.

### 5.2.2. Applications

L'application de systèmes modernes de détection/prévision de glace se présente habituellement sous la forme d'un outil de gestion intégré. Un système normal comprend des capteurs placés en bordure de la route et connectés à une unité centrale à laquelle peut à son tour accéder un organisme de prévision météorologique.

Outre l'appel des capteurs et l'archivage des données, l'unité centrale du système remplira souvent une multitude d'autres tâches, notamment la mémorisation, le traitement, la visualisation et l'intégration de données provenant de diverses sources. Les sources de données peuvent inclure des cartes thermiques numérisées, des images radar et satellite et des prévisions. Les prévisions combinent souvent textes et graphiques et de nombreux systèmes incluront désormais les prévisions de la température à la surface de la route (TSR) dont l'importance ne cesse de croître.

Ces prévisions TSR sont régulièrement à la base des décisions du responsable de l'entretien des routes et peuvent reposer sur des méthodes statistiques ou sur des moyens plus dynamiques grâce à un modèle de bilan thermique.

Dans la pratique, le responsable de l'entretien des routes dispose d'un outil très puissant pour obtenir une vue d'ensemble des conditions ambiantes existantes et prévues et planifier la réaction la plus appropriée et généralement la plus efficace.

Ces systèmes présentent des avantages variés, notamment :

- 1) économies d'argent sur les matières premières,
- 2) amélioration de la sécurité,
- 3) réduction de la pollution du milieu ambiant,
- 4) rationalisation de la stratégie d'entretien (qui pourrait entraîner une réduction des dépenses d'investissement),
- 5) diminution du stress du responsable de l'entretien des routes,
- 6) archivage des données (utile pour établir les atlas et planifier les stratégies futures).

Des études ont montré que les économies sont souvent de l'ordre de 30 % et peuvent conduire à un bénéfice sur l'investissement initial dans l'année ou les deux ans qui suivent.

Ces derniers temps, il a été question de scénarios du réchauffement de la terre qui pourraient entraîner une baisse des investissements futurs dans des systèmes de ce type, ce que ne confirment en rien les derniers hivers très doux qu'a connus le Royaume-Uni - où le climat est variable (même au cours d'un hiver normal). Au contraire, nous avons surtout senti une plus grande

confiance en ces systèmes pendant un hiver doux. Cela s'explique par le fait que le principal avantage résulte souvent de la prise de décision correcte dans une situation marginale. Il s'est avéré que, pendant les derniers hivers doux, le nombre de situations marginales s'est sensiblement accru, compensant souvent plus que largement leur réduction lors des périodes froides. Les systèmes modernes de détection/prévision de glace sont vitaux pour évaluer correctement ces situations.

En supposant l'exactitude de certains scénarios de réchauffement de la terre, il se peut que, dans un avenir lointain, nous disposions de preuves suffisantes plaidant en faveur d'une réduction des dépenses d'investissement consacrées à l'entretien hivernal. Toutefois, même dans ce cas, les systèmes de détection/prévision de glace pourront encore jouer un rôle précieux en préservant une réponse efficace pour des ressources réduites.

La tendance s'oriente de plus en plus vers l'adoption de stratégies d'entretien reposant sur les prévisions, car celles-ci permettent d'évaluer la puissance réelle de ces systèmes. Une prévention est toujours beaucoup plus efficace qu'une réaction. Une utilisation intelligente de ces systèmes autorise un équilibre plus subtil entre la sécurité et le gaspillage, d'où une réduction des coûts.

### 5.2.3. Cartographie thermique

La cartographie thermique se répand de plus en plus et complète les progrès généraux réalisés en matière d'entretien hivernal.

L'idée de base consiste à effectuer une mesure objective du profil thermique typique à la surface de la route le long d'itinéraires prédéterminés. Pour des raisons d'économie et de réalisation, il est habituellement impossible de couvrir toutes les situations possibles et tous les itinéraires. Le compromis normal consiste à examiner les itinéraires-clés et éventuellement les intersections de différents types de routes.

Comme, en général, un refroidissement ne touche pas linéairement des régions aux topographies différentes, l'étude de cartographie thermique s'effectue normalement à l'aube, au moment où un équilibre est le plus probable. De nouveau pour des raisons de réalisation, des études de cartographie thermique sont souvent menées dans 3 types de régimes météorologiques différents plutôt que par une couverture de toutes les situations envisageables.

Il s'agit de :

- 1) situations extrêmes (ciels clairs et vents calmes ou légers - rayonnement maximum);
- 2) situations intermédiaires (nuages discontinus et vent léger);
- 3) situations humides (temps nuageux et venteux, éventuellement accompagné de précipitations atmosphériques).

Une cartographie supplémentaire peut être réalisée (en fonction des budgets disponibles) pour inclure certains éléments tels que des enneigements importants et des vents dominants variables.

Parmi les méthodes antérieures de cartographie thermique des routes (y compris les études aériennes), la méthode la plus communément admise consiste désormais à réaliser l'étude à partir d'un véhicule se déplaçant sur la route. En termes simples, une patrouille circule sur chaque itinéraire au moment opportun et dans un régime météorologique particulier. Une caméra infrarouge convenablement étalonnée est suspendue sous le véhicule et enregistre l'état thermique de l'itinéraire qui est éventuellement numérisé et utilisé pour élaborer une "empreinte digitale" thermique. Le responsable de l'entretien des routes dispose alors, d'une part, d'informations utiles sur la variation probable de la température sur un itinéraire et, d'autre part, de mesures de l'influence d'une topographie variable telle que régions montagneuses, zones boisées, effet de serre de zones construites, etc.

Vu l'état actuel des techniques, la cartographie thermique présente les avantages suivants :

- 1) un guide d'identification des sites d'installation des capteurs;
- 2) en utilisant les sites des capteurs pour établir les cartes, il est possible d'évaluer la température la plus probable d'une portion de route pour laquelle aucun capteur ne fournit d'informations;
- 3) les prévisions (type de conditions climatiques et température à la surface de la route) permettent d'établir la carte thermique appropriée en vue de disposer d'un élément prévisionnel lors de périodes critiques;
- 4) les profils de la carte thermique qui proviennent d'une variété de routes d'une région peuvent servir à établir un classement par ordre de priorité et à rationaliser les itinéraires d'entretien, ce qui allège aussi le travail du responsable de l'entretien des routes.

Des applications futures (pour autant que la technique s'avère suffisamment précise) pourraient inclure l'emploi des cartes pour orienter un entretien sélectif. Les restrictions actuelles (à savoir application limitée à un régime climatique et à une période particuliers) pourraient être surmontées en modélant l'évolution du profil des routes en fonction des périodes et des climats fixes actuels, ce qui accroîtrait leur polyvalence.

Les données peuvent être sorties sur papier, mais les systèmes les plus évolués intègrent des cartes thermiques numérisées dans des systèmes de détection de glace existants. Celles-ci peuvent souvent se présenter sous la forme de cartes schématiques en couleurs codiques, mais les versions de pointe écrasent les données de ce type de carte thermique sur des cartes routières numérisées à l'échelle. L'interprétation subjective des données est dès lors améliorée. Les données provenant des capteurs peuvent aussi être écrasées et un capteur déterminé peut être sélectionné pour piloter la carte, en temps réel ou en mode prévisionnel. Certains systèmes proposent un niveau de raffinement supplémentaire en permettant de diviser la zone de la carte thermique en domaines climatiques.

La nécessité d'une norme s'est rapidement faite sentir pour transférer des données de ce type. Une définition et un protocole d'enregistrement et de numérisation des informations d'une carte thermique ont dès lors été élaborés et publiés par le Ministère des transports britannique.

#### 5.2.4. Transmission de données

La plupart des systèmes reposent sur la même philosophie de base. Les systèmes de détection se composent d'un réseau de capteurs routiers reliés à une unité centrale de traitement (UC) et souvent à des terminaux d'interrogation auxiliaires. Pour des raisons de fiabilité, d'économie, de réalisation et de polyvalence, le réseau de capteurs est habituellement pourvu d'une alimentation électrique et relié aux réseaux électrique et téléphonique publics.

Les informations fournies par les capteurs varient considérablement et dépendent, d'une part, des installations proposées par divers fabricants et, d'autre part, des exigences posées par les services locaux. Une configuration minimale inclura probablement :

- 1) la température à la surface de la route,
- 2) la température de l'air.

L'utilisation croissante de modèles de prévision de la température à la surface de la route impose aussi de recommander l'installation d'une sonde souterraine pour initialiser des profils de modèle. La définition exacte d'une sonde de ce type variera probablement en fonction du modèle employé.

Parmi les autres informations utiles, citons la vitesse et la direction du vent, le point de rosée, des facteurs chimiques, etc.



Les données provenant de capteurs de ce type sont généralement reçues par la station maîtresse qui exécute un programme appelant le cycle par modem. Il faut inclure parmi les installations supplémentaires la possibilité d'interroger à tout moment un capteur précis et des capteurs "intelligents" alerteront parfois la station maîtresse lorsque les conditions deviennent critiques.

Le protocole régissant l'échange de données entre les capteurs et la station maîtresse (et les terminaux auxiliaires) est souvent spécifique à un fabricant ou à un fournisseur de système. Pour diverses raisons, cette partie du processus n'a pas encore pu faire l'objet d'une norme à ce jour.

Alors que la détection de glace joue un rôle important dans les opérations modernes d'entretien hivernal, la mise à disposition de prévisions de qualité revêt peut-être une importance primordiale. Les méthodes modernes sont capables :

- 1) d'engendrer des économies considérables sur les coûts d'investissement en produits chimiques,
- 2) d'améliorer l'efficacité d'exploitation,
- 3) de garantir la sécurité.

Pour mettre en pratique toutes les possibilités de ces avantages, il est essentiel d'intégrer dans le processus des prévisions avec des données en temps réel.

Les systèmes modernes peuvent recevoir et visualiser un vaste éventail de produits complexes (habituellement sur l'UC qui sert aussi à interroger et à visualiser les informations du capteur). Les organismes de prévision peuvent devoir solliciter et relayer à distance des informations qui proviennent potentiellement d'une multitude de sources. Il est dès lors judicieux de régir cette partie de l'échange de données par un protocole standard. Les prévisions mises à la disposition du responsable de l'entretien des routes sont devenues de plus en plus complexes et variées. Elles incluent à l'heure actuelle :

- 1) prévisions standard sous forme de texte,
- 2) représentation graphique des prévisions,
- 3) prévisions de la température à la surface de la route (spécifiques au site - jusqu'à 24 heures),
- 4) images radar et satellite.

La couverture des liaisons entre l'organisme de prévision et l'unité centrale d'un utilisateur a déjà fait l'objet de plusieurs tentatives d'instauration d'un protocole standard. La France et le Royaume-Uni en constituent notamment des exemples. Au Royaume-Uni, le protocole MCE 2020G (bientôt 2020H) du Ministère des transports fait office de norme pour interroger et transmettre

des données entre plusieurs centres de prévision et de nombreux utilisateurs locaux. Ce protocole ASCII est relativement simple et définit le lieu et le moment d'utilisation ainsi que le type de modem requis. Il permet de transmettre diverses prévisions en texte, des prévisions permanentes de température à la surface de la route spécifiques à un site, des images radar. Il intègre en outre un protocole de réception de données de capteur par un utilisateur.

Il peut être souhaitable d'établir un protocole paneuropéen suffisamment polyvalent pour couvrir les applications existantes et éventuellement à venir. Toutefois, il peut s'avérer très difficile d'appliquer ce concept pour les raisons suivantes :

- 1) la variété des produits et des idées déjà élaborés dans divers pays,
- 2) les exigences et pratiques de travail divergentes,
- 3) divers types de matériels et de systèmes de diffusion,
- 4) les investissements existants en matière de matériels et de logiciels.

Néanmoins, l'instauration d'un protocole vraiment universel devrait constituer un objectif à long terme. La mise en place progressive d'une telle action contribuerait à adoucir l'impact de certains des problèmes déjà mentionnés. Il serait aussi judicieux de tenir compte de développements similaires dans d'autres parties du monde comme aux Etats-Unis, au Canada et au Japon.

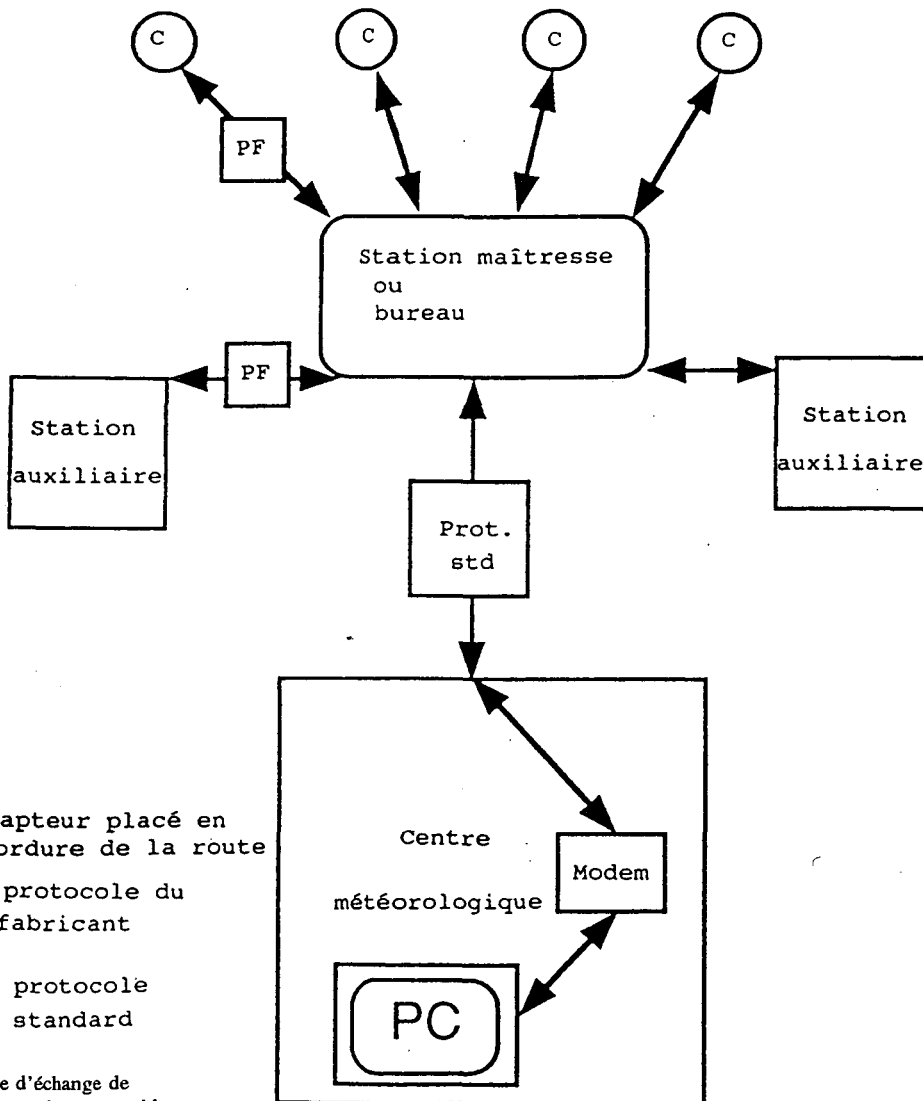
#### 5.2.5. Conclusions

De nos jours, il est communément admis que des systèmes modernes de détection et de prévision de glace devraient former la base d'une stratégie d'entretien hivernal intégrée. En dépit de coûts d'installation relativement élevés, leur mise en oeuvre sera bientôt rentable, car la sécurité sera améliorée, des coûts seront économisés à long terme, la réaction face à des situations météorologiques critiques sera optimisée et les dégâts occasionnés à l'environnement seront minimisés. Les données d'archive provenant de sites de capteurs peuvent aussi fournir des informations précieuses pour une planification stratégique à plus long terme. Ces avantages ne seront toutefois pas automatiques. Il convient d'accorder une grande attention à tous les aspects du système et il se peut que les pratiques de travail doivent en outre être radicalement modifiées pour tirer le maximum d'avantages de cette nouvelle technologie. Outre une instrumentation précise et fiable, les systèmes globaux ont aussi besoin de données prévisionnelles valables.

5.2.6. Recommandations

- 1) L'installation de systèmes modernes de détection et de prévision de glace est encouragée dans toutes les régions où des hivers rigoureux empêchent une circulation sûre et fluide et portent donc préjudice à l'économie régionale et à l'infrastructure sociale.
- 2) La recherche devrait se poursuivre dans tous les aspects de ces systèmes et particulièrement dans les techniques de prévision à court terme.
- 3) La recherche est recommandée en vue d'établir un protocole commun (tel que celui qui existe déjà au Royaume-Uni) de transmission de données entre les centres de prévision et les systèmes des services locaux. Ce concept de protocole pourrait aussi être étendu à l'échange d'informations entre les centres météorologiques nationaux. Cette recherche devrait aussi en partie porter sur une étude de l'adéquation du code WMO FM 94 BUFR actuel.

5.2.7. Système de détection/prévision de glace typique



C = capteur placé en bordure de la route

PF = protocole du fabricant

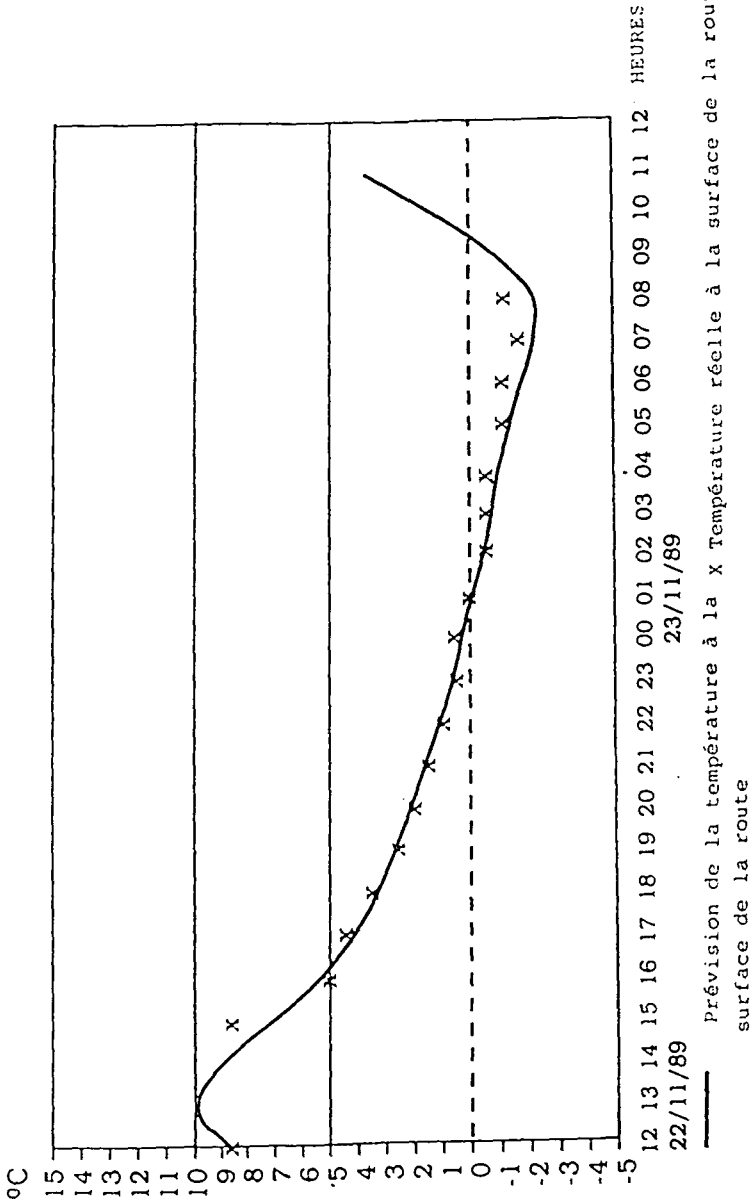
Prot.

std = protocole standard

(Protocole d'échange de données entre le responsable de l'entretien des routes et l'organisme de prévision.)

5.2.8. EXEMPLE DE PREVISION DE LA TEMPERATURE A LA SURFACE DE LA ROUTE SPECIFIQUE A UN SITE SUR "ROUTE OUVERTE" - OFFICE METEOROLOGIQUE BRITANNIQUE

(Le centre météorologique de Manchester a sorti cet exemple le 22.11.1989 à 13 heures pour un site situé sur l'A6 du grand Manchester.)



### 5.3. DETECTION ET PREVISION DU BROUILLARD

---

#### 5.3.1. Visibilimètres routiers : première campagne d'évaluation

Quatre visibilimètres routiers en cours de développement ont d'abord été essayés dans une chambre à brouillard appartenant au Laboratoire des ponts et chaussées de Clermont-Ferrand (L.R.P.C.), puis sur un site autoroutier au cours de l'hiver 1989/1990.

##### 1) Essai comparatif en laboratoire

Le Laboratoire des ponts et chaussées de Clermont-Ferrand possède une chambre à brouillard artificiel qui a servi à simuler un brouillard diurne ou nocturne.

##### 1.1 Principe de l'étude

Le visibilimètre essayé et le visibilimètre de référence sont placés dans une chambre à brouillard artificiel. Les données fournies par les deux appareils sont enregistrées simultanément (fréquence d'acquisition : 1 seconde) pour trois "situations de brouillard" différentes :

- absence de brouillard (essais statiques en l'absence de brouillard);
- brouillard (essais statiques dans le brouillard);
- brouillard avec éclaircies (essais dynamiques).

##### 1.2 Procédure

Les deux visibilimètres sont placés dans le même plan horizontal (à 1,2 m de haut) de telle manière que le volume d'air analysé soit le plus près possible du centre géométrique de la chambre et permette ainsi d'éviter toute interférence lumineuse. Les mesures sont effectuées après 15 minutes minimum - le temps nécessaire pour stabiliser les sources lumineuses et les éléments électroniques.

##### a) Essais statiques sans brouillard :

- création d'une visibilité routière de 200 mètres environ : cette situation peut s'obtenir en réduisant la distance (volume d'air analysé dans la chambre) lors de l'essai d'un diffusomètre ou en insérant un filtre approprié entre l'émetteur et le récepteur lors de l'essai d'un transmissomètre :

- Acquisition automatique des données : fréquence d'acquisition = 1 seconde, durée = 30 minutes.
- Données transférées et mémorisées sur disquette.

**b) Essais statiques dans le brouillard :**

- Générateur de brouillard artificiel branché.
- Acquisition automatique des données : fréquence d'acquisition = 1 seconde, durée = 30 minutes.
- Données transférées et mémorisées sur disquette.

**c) Essais dynamiques :**

Ce type d'essai compte trois cycles identiques :

- Générateur enclenché pendant 30 minutes pour porter la chambre à saturation (opération uniquement exécutée pour le premier cycle).
- Générateur arrêté, attendre la dénébulation.
- Générateur enclenché jusqu'à ce que le visibilimètre de référence indique un coefficient d'extinction K égal à 0,1 m-1.
- Arrêt automatique du générateur.
- Dès que le coefficient K atteint 0,3 m-1, l'acquisition simultanée des données démarre (fréquence : 1 seconde).
- Arrêt de l'acquisition lorsque le coefficient K est égal à 0,015 m-1.
- Données transférées et mémorisées sur disquette.

**1.3 Matériel utilisé**

**a) Visibilimètre de référence :**

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- transmissomètre
  - \* plage de mesure 0-100 % du coefficient de transmission atmosphérique
  - \* signal de sortie : 0 à 5 mA
  - \* précision de mesure : < 0,5 % dans la plage de températures comprises entre -30 °C et 50 °C
  - \* fiabilité : < 1 % sur une période de 6 mois
  - \* temps de réponse : < 5 secondes pour la plage de mesure
  - \* système de compensation automatique intégré

**b) Système d'acquisition et de mémorisation des données**

Ce système comprend un poste central d'acquisition des mesures, type 65 ADP 40 (Mess system technik), relié à un microprocesseur Persona 1 600 (Logabax) via une interface série RS232C. Le logiciel d'acquisition et de traitement a été mis au point par le L.R.P.C.

c) Les visibilimètres analysés

Quatre visibilimètres français en cours de développement ou déjà industrialisés ont été évalués dans le cadre de cette étude. Le tableau ci-dessous reprend leurs caractéristiques générales :

	Visibilimètre A	Visibilimètre B	Visibilimètre C	Visibilimètre D
Type	Rétrodiffusomètre	Transmissomètre	Rétrodiffusomètre	Rétrodiffusomètre
Emetteur	DEL	Laser à hélium	24 DEL	Lampe éclair au xénon
Récepteur	Photodiode au silicium	Cellule photoélectrique	Photodiode	Photodiode PIN au silicium
Signal de sortie	Tension analogique 0-5 V	Sortie analogique 0-5 mA	Sortie numérique Comptage et amplification numériques	Sortie numérique Distance de visibilité en mètres

Caractéristiques générales des visibilimètres analysés

RESULTATS - REMARQUES :

Le tableau reprend les principaux résultats obtenus lors des essais statiques (avec et sans brouillard).

	Visibilimètre A	Visibilimètre B	Visibilimètre C	Visibilimètre D
<u>SANS BROUILLARD</u>				
Durée	1.800 s	-	1.800 s	1.800 s
Valeur moyenne	8 m	-	7 m	7 m
Valeur minimale	7,7 m	-	7 m	7 m
Valeur maximale	8,4 m	-	7 m	7 m
<u>AVEC BROUILLARD</u>				
Durée	1.800 s	1.800 s	1.800 s	100 s
Valeur moyenne	120 m	4,7 m	240 m	190 m
Valeur minimale	90 m	5,5 m	240 m	180 m
Valeur maximale	160 m	5 m	290 m	210 m

Distances de visibilité obtenues lors des essais statiques



Lors des essais statiques avec brouillard, la distance de visibilité a varié entre 90 et 130 % par rapport à la distance moyenne.

L'examen des courbes obtenues avec des essais dynamiques montre une bonne similitude entre les valeurs obtenues avec l'équipement essayé et l'équipement de référence. Toutefois, les visibilimètres B et D (haut de gamme) présentent une surévaluation et les visibilimètres A et C (milieu de gamme) une sous-évaluation.

## 2) Etude de tenue sur site

### 2.1 Principe :

L'objectif est d'étudier la tenue du visibilimètre en service, en bordure d'autoroute (voir la présentation du site en annexe), pour déterminer ses limites d'utilisation et toutes les causes d'écart possibles. Les données fournies par les visibilimètres sont enregistrées en même temps que les informations de divers capteurs (température et humidité de l'air, vitesse du vent, intensité des précipitations, rayonnement global). De plus, une unité d'observation vidéo placée à 100 mètres du site permet d'analyser la situation météorologique et de valider (de jour) les données des visibilimètres étudiés. Celles-ci sont aussi envoyées au L.R.P.C. par ligne téléphonique pour garantir un fonctionnement correct à distance de l'équipement.

### 2.2 Procédure :

Un enregistrement continu et synchronisé, d'une part, des données des visibilimètres essayés et, d'autre part, des capteurs météorologiques et des observations vidéo est stocké sur disquette (autonomie de 10 jours) et sur bande magnétique (autonomie de 20 jours).

### 2.3 Résultats - remarques :

Cette étude s'est étalée sur une période de 10 semaines entre le 19 février 1990 à 19 heures 35 et le 29 avril 1990 à 24 heures.

Le tableau reprend la tenue des visibilimètres lors des périodes de "visibilité réduite" identifiées par la caméra.

La remarque "N.P.A. - ne peut être apprécié" concerne le visibilimètre B : cet appareil émet un signal de sortie (correspondant à des distances de visibilité de 10 à 1000 mètres inclus) qui varie aléatoirement. L'observation de son fonctionnement sur site a mis en évidence le rôle des supports assurant les liaisons récepteur/support et émetteur/support. Ils ont subi des déformations plus ou moins importantes sous l'effet de la chaleur, ce qui a provoqué un décalage du faisceau lumineux.

Le visibilimètre C semble sensible aux pannes de courant, ce qui peut entraîner des erreurs de distance de visibilité de 50 mètres environ.

Le visibilimètre D est perturbé par la présence d'un obstacle (fourgon) placé à une distance de 15 à 20 mètres. Dans ce cas, la distance de visibilité délivrée par l'appareil peut varier de 50 à 300 mètres.

Les résultats sont principalement déformés par :

- un mauvais étalonnage de l'appareil (surtout les visibilimètres A et B),
- l'effet (direct ou indirect) de paramètres d'influence : précipitations, neige, rayonnement,
- les types de brouillards rencontrés sur le site (variations rapides des distances de visibilité),
- les différences entre les vitesses d'acquisition des divers visibilimètres, d'où pertes d'informations (visibilimètre D).

Tout au long de la campagne de mesure, aucun appareil n'est tombé en panne. Aucune maintenance particulière n'a été nécessaire.

		N° de période de "visibilité réduite" identifiée par caméra								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Date		2.03	10.03	16.03	23.03	25.03	26.03	27.03	28.03	6.04
Durée		4 H	5 H	5 H	1 H	1H	2 H	2 H	4 H	4 H
Conditions météorologiques		*	Brouillard	Brouillard	Brouillard	*	*	*	*	*
Visib. A	Détection	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Distance de visibilité minimale	>400 m	50 m	100 m	> 400 m	> 400 m	> 400 m	> 400 m	10 m	>400 m
Visib. B	Détection	NPA	Oui	Oui	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA
	Distance de visibilité minimale		50 m	60 m						
Visib. A	Détection	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Distance de visibilité minimale	150 m	50 m	60 m	140 m	550 m	100 m	160 m	120 m	110 m
Visib. B	Détection	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Distance de visibilité minimale	150 m	50 m	50 m	70 m	220 m	90 m	100 m	50 m	70 m

EPISODES DE "VISIBILITE REDUITE" - TENUE DES VISIBILIMETRES (NPA = NE PEUT ETRE APPRECIE)

		N° de période de "visibilité réduite" identifiée par caméra								
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Date		6.04	7.04	7.04	15.04	18.04	21.04	24.04	25.04	26.04
Durée		3 H	1 H	1 H	1 H	1 H	1 H	0 H 30	1 H	0 H 30
Conditions météorologiques		.	Brouillard	Brouillard	.	Brouillard	Brouillard	.	Brouillard	Brouillard
Visib. A	Détection	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Distance de visibilité minimale	> 400 m	> 400 m	> 400 m	> 400 m	> 20 m	> 400 m	> 400 m	400 m	> 400 m
Visib. B	Détection	NPA*	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA
	Distance de visibilité minimale									
Visib. A	Détection	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	Distance de visibilité minimale	160 m	180 m	550 m	580 m	160 m	250 m	300 m	220 m	800 m
Visib. B	Détection	oui	oui	oui	non	oui	oui	non	oui	oui
	Distance de visibilité minimale	100 m	100 m	110 m	> 600 m	120 m	100 m	> 1000 m	220 m	180 m

EPISODES DE "VISIBILITE REDUITE" - TENUE DES VISIBILIMETRES (NPA = NE PEUT ETRE APPRECIE)

## CONCLUSIONS

Les premiers résultats obtenus et les difficultés rencontrées lors de cette évaluation ont mis en évidence le besoin d'étalonner les visibilimètres et d'harmoniser les données.

L'harmonisation des données doit tenir compte des trois paramètres suivants :

- besoins du responsable de l'entretien des routes : distance de visibilité en mètres ou codée selon la catégorie;
- transfert de données : signaux électriques analogiques et numériques - choix du protocole de transmission;
- existence de nombreux types de brouillard/brouillard : définition d'une séquence de mesure.

### 5.3.2. Prévisions de brouillard

Le brouillard compte parmi les principaux phénomènes météorologiques qui influencent la circulation routière dès que la visibilité est inférieure à cent mètres. Un brouillard épais peut en particulier réduire la visibilité à une dizaine de mètres, paralyser presque entièrement la circulation et être à l'origine d'accidents spectaculaires et graves (carambolages).

Le brouillard est un phénomène complexe relativement peu connu et il est encore assez mal prévu par les divers services météorologiques. Toutefois, des prévisions de brouillard réellement fiables, même si ce n'est que 24 heures à l'avance, seraient très utiles aux usagers de la route (transporteurs routiers et conducteurs de voiture), car ils pourraient alors avancer ou retarder leur départ, voire modifier leur itinéraire. Il en découlerait deux avantages : une amélioration de la sécurité routière et une réduction des coûts dus aux bouchons.

Dans le but d'améliorer considérablement la qualité des prévisions de brouillard, la France a lancé un vaste programme de recherche combinant la recherche fondamentale de pointe et des applications opérationnelles. L'Office national météorologique, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et la région Nord-Pas de Calais ont associé leurs efforts dans un groupe de travail scientifique "Brouillard". Les ponts et chaussées reconnaissent l'importance de ce travail et ont apporté un soutien particulier, surtout dans l'installation du site expérimental d'étude du brouillard à Carnin (Nord).

Le programme scientifique de ce groupe de travail a été présenté lors des séminaires de la SERWEC à Florence (1988) et du SATCAR à Clermont-Ferrand (1989). A ces occasions, un appel a été lancé aux équipes de recherche étrangères travaillant dans le même sens, sans grand succès à ce jour.

Les grandes lignes du programme scientifique sont esquissées ci-dessous. De plus, un rapport d'activités jusqu'en juin 1990 et un calendrier provisoire sont également présentés. Ce programme semble être unique au monde.

#### **5.3.2.1. Comment résoudre le problème du "brouillard"**

##### **5.3.2.1.1. La difficulté de prévoir le brouillard**

Les prévisions de brouillard sont mauvaises, car le brouillard est un phénomène très complexe.

- (a) Les interactions entre les divers processus physiques qui contribuent à la formation du brouillard sont multiples : (thermo)dynamique, rayonnement, processus microphysiques et chimiques, etc.
- (b) Le franchissement de certains seuils est crucial (humidité à 100 %, vents légers, basses turbulences, etc.). Le brouillard constitue un "état intermédiaire" entre la précipitation et la dispersion de l'humidité dans l'atmosphère.
- (c) Le brouillard est un phénomène très localisé : les distances concernées peuvent se réduire à quelques centaines de mètres ou moins, par rapport à 1.000 kilomètres pour une perturbation liée à une dépression; verticalement, il se limite à quelques mètres alors que des systèmes météorologiques traditionnels peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres. Cette variabilité extrême est liée à des variations du terrain (nature du sol et rayonnements associés, pente - pour les vents locaux -, présence ou absence de sources d'humidité proches telles que des mers, des lacs ou des rivières).

PERIDOT - le modèle de prévision météorologique à grande échelle qui est actuellement mis en service par l'Office météorologique - analyse un point tous les 35 kilomètres sur l'échelle horizontale et possède 15 niveaux verticaux répartis entre un niveau proche du sol et une altitude de 15 kilomètres. Ces méthodes sont donc loin de prévoir le brouillard avec précision.

#### **5.3.2.1.2. Besoin de coordonner les travaux**

La complexité des problèmes inhérents aux prévisions de brouillard nous force à conclure que, pour réaliser des progrès, il convient d'améliorer considérablement notre compréhension élémentaire des processus contribuant à la formation du brouillard et de leurs interactions. Le CNRS, qui possède les équipes de pointe dans ce domaine, est chargé de ces recherches.

Pour convertir les progrès de la recherche fondamentale en améliorations pratiques des prévisions opérationnelles de l'Office météorologique, un "transfert des connaissances" est nécessaire entre la recherche fondamentale et les prévisions opérationnelles. De son côté, l'expérience acquise par les météorologistes peut contribuer à orienter la recherche.

La recherche et son adaptation aux prévisions doivent dès lors être coordonnées pour résoudre correctement le problème du brouillard. C'est l'objectif du groupe de recherche scientifique "brouillard".

#### **5.3.2.2. Groupe de recherche scientifique "brouillard"**

##### **5.3.2.2.1. Les partenaires**

Le groupe de recherche scientifique "brouillard" compte trois participants.

\* Le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) est responsable de la recherche fondamentale menée dans trois laboratoires.

- Le Laboratoire d'aérodynamique (Toulouse) est le chef de file du projet; il a mis au point un modèle de simulation numérique d'une nappe de brouillard qui servira de base à la recherche.
- Le Laboratoire de météorologie physique associée (Clermont-Ferrand) prodigue des conseils d'expert sur les problèmes microphysiques (formation des gouttelettes d'eau, rôle des noyaux de condensation).
- Le Laboratoire d'optique atmosphérique (Lille) prend en charge les rayonnements : modélisation, télédétection (localisation du brouillard sur les images satellite), mise au point d'un capteur de visibilité léger.

\* L'Office national météorologique applique les résultats de la recherche fondamentale aux prévisions opérationnelles.

- Le Service météorologique interrégional du Nord (Lille) exploite le site d'étude du brouillard de Carnin (Nord) qui évalue les prévisions et applique une adaptation dynamique du modèle de recherche aux prévisions opérationnelles.
- L'Organisme d'étude et de recherche météorologique finance les opérations et traite des approches statistiques et des systèmes experts.
- \* La Région Nord-Pas de Calais contribue aussi à l'effort de recherche. Elle a été à la base de l'installation à Carnin - dans le cadre d'un contrat de plan Etat-région pour l'amélioration de la sécurité routière - du site d'étude du brouillard, un facteur décisif dans l'installation du groupe scientifique et de son travail.

#### 5.3.2.2.2. Objectifs

Les objectifs du groupe de travail scientifique "brouillard" sont les suivants :

- coordonner les activités de la recherche fondamentale,
- garantir une transmission aux services de prévision des progrès réalisés en matière de recherche fondamentale,
- introduire des prévisions de brouillard réellement opérationnelles.

#### 5.3.2.3. Programme de recherche

##### 5.3.2.3.1. Recherche fondamentale

La recherche fondamentale forme la base du programme : les progrès de notre compréhension fondamentale du phénomène "brouillard" influencent l'amélioration de sa prévision.

La simulation numérique est le principal outil utilisé : le brouillard est un phénomène trop complexe pour être appréhendé par des moyens "analytiques". Nous devons dès lors élaborer un modèle capable de simuler la formation, le développement et la dissipation d'une nappe de brouillard. Dans un premier temps, un modèle unidimensionnel sera utilisé (qui simulera un brouillard sur l'axe vertical en un seul point du sol en supposant une homogénéité horizontale). Un tel modèle ne peut simuler qu'un exemple "scolaire". Un modèle bidimensionnel sera élaboré ultérieurement (en ajoutant une dimension horizontale), ce qui permettra de dépasser l'hypothèse de l'homogénéité horizontale et d'aborder des exemples plus réalistes. Une attention particulière sera accordée à la microphysique et aux rayonnements.



Cette phase sera complétée d'un travail sur la télédétection : il est difficile de déterminer l'étendue d'une nappe de brouillard à partir d'images satellite, car le brouillard se forme souvent la nuit et il est dès lors impossible de réaliser des images satellite visibles. Nous devons donc nous contenter d'images infrarouges qui montrent la température de la première surface "vue" par le satellite. Néanmoins, la température d'une nappe de brouillard est très proche de celle du sol voisin exempt de brouillard. Le pouvoir séparateur des satellites (en particulier de satellites géostationnaires) est souvent insuffisant pour traiter les dimensions caractéristiques d'une nappe de brouillard.

#### 5.3.2.3.2. Application aux prévisions

Les approches suivantes ont été retenues pour améliorer les prévisions de brouillard :

- évaluation de la précision des prévisions par des méthodes actuelles en vue de déterminer leurs forces et leurs faiblesses;
- étude de la climatologie du brouillard;
- recherche de rapports statistiques entre le brouillard et d'autres paramètres atmosphériques ou leur valeur telle que prévue par des modèles de prévision météorologique comme PERIDOT;
- conception d'un modèle physique simplifié qui est dérivé du modèle de simulation de brouillard unidimensionnel utilisé pour la recherche fondamentale, à intégrer en un ou plusieurs points de la trame du modèle PERIDOT. Cette technique est connue sous le nom d'adaptation dynamique. Le modèle de recherche doit être simplifié pour réduire le temps machine des calculs.

#### 5.3.2.3.3. Constitution d'une banque de données pour valider le travail

Cette recherche, qu'elle soit fondamentale ou appliquée aux prévisions, doit être constamment comparée à la réalité, à l'expérience. Pour ce faire, nous avons besoin d'un vaste éventail de mesures météorologiques prélevées dans les nappes de brouillard au moment de leur formation, de leur développement et de leur dissipation. Les mesures récoltées par le réseau opérationnel de l'Office national météorologique ne suffisent pas, que ce soit du point de vue des paramètres mesurés ou des niveaux de mesure (toujours inférieurs à 10 m).

Un site expérimental d'étude du brouillard a été installé pour récolter des données de ce type et "documenter" le maximum d'apparitions de brouillard. Ce site doit demeurer opérationnel pendant plusieurs années pour fournir des statistiques significatives.

#### **5.3.2.4. Travail effectué à ce jour**

##### **5.3.2.4.1. Travail antérieur au groupe de travail scientifique**

Bien que de nombreux espoirs soient fondés sur le groupe de travail scientifique, nous ne devons pas oublier les travaux antérieurs qui servent de base à la recherche effectuée par le groupe de travail scientifique.

- (a) Le modèle de simulation de brouillard utilisé pour la recherche fondamentale a été progressivement mis au point sur plusieurs années : il intègre explicitement des aspects microphysiques.
- (b) Des données ont déjà été récoltées pour tenter de confirmer les modèles numériques. Toutefois, les installations employées ne concernaient pas spécifiquement le brouillard et ne pouvaient dès lors pas fournir des informations sur certains paramètres essentiels tels que l'humidité.
- (c) Des mesures microphysiques avaient déjà été exécutées dans une chambre à brouillard et sur le terrain.

##### **5.3.2.4.2. Le site d'étude du brouillard**

Ce site satisfait à l'exigence décrite ci-dessus pour la constitution d'une base de données spécifiques au brouillard couvrant une période suffisamment longue.

Etabli dans le cadre d'un contrat de plan entre l'Etat et la région Nord-Pas de Calais pour l'amélioration de la sécurité routière, ce site est situé à Carnin (Nord) et équipé de près de 80 capteurs de température, d'humidité, de vent, de rayonnement et de visibilité qui prélèvent des mesures toutes les 6 minutes à des niveaux variant entre 1 et 80 mètres au-dessus du niveau du sol. Il est exploité sur une base semi-permanente, six mois par an (d'octobre à mars); le reste du temps est consacré à l'entretien, à l'étalonnage des capteurs, etc.

Après l'installation et les essais initiaux, le site a été exploité sans interruption depuis la fin de l'année 1987.

En plus de l'exploitation semi-permanente, le site a été utilisé pour une période de mesures intensives en octobre et novembre 1988. Cette période avait été précédée (en février 1988) de 3 semaines de réglage de l'équipement. Cette campagne a apporté un vaste supplément de données qui ne sont habituellement pas récoltées. L'équipement supplémentaire comprenait :

- un équipement microphysique (pour compter et analyser les gouttelettes d'eau présentes dans le brouillard et les noyaux de condensation sur lesquels elles se forment);
- un équipement de radiosondage;
- un radar anémométrique;
- un sodar triple;
- un appareil de mesure de l'eau liquide par l'absorption d'un laser à dioxyde de carbone;
- un radiomètre supplémentaire.

Cette période de mesures intensives a permis de rapporter quatre brouillards épais, ce qui ne répondait pas tout à fait à notre attente.

Les données récoltées au cours de l'hiver 1988/1989, et en particulier celles de la période de mesures intensives, ont été analysées, commentées et corrigées.

Le site continuera de récolter des données sur le brouillard jusqu'au printemps 1992; une nouvelle période d'observation intensive sera entre-temps mise sur pied.

#### 5.3.2.4.3. Recherche fondamentale

\* Modélisation : les résultats initiaux des simulations numériques reflètent la réalité de façon encourageante. Ils semblent indiquer que la formation ou la non-formation d'une nappe de brouillard dépend peu de la distribution des noyaux de condensation présents dans l'atmosphère. Toutefois, cette dernière influence grandement l'évolution de la distribution des gouttelettes d'eau résultantes et, partant, la visibilité observée dans la nappe de brouillard : la multiplication des noyaux actifs entraîne, d'une part, une augmentation du nombre de gouttelettes (et une réduction de leur diamètre) dans lesquelles un volume d'eau donné se divise et, d'autre part, une réduction de la visibilité.

\* Microphysique : l'analyse des données récoltées met en évidence la présence de gouttelettes de petites dimensions ( $\pm 1 \mu$ ) lorsque l'humidité relative dépasse 85 %. Leur croissance ne débute vraiment que lorsque l'humidité avoisine les 100 %.

\* Télé-détection : les premières tentatives d'identification du brouillard par les images satellite (c'est-à-dire au moyen d'images visibles) ont à ce jour avorté.

#### 5.3.2.4.4. Première évaluation des prévisions

Toute tentative d'amélioration des prévisions doit être précédée d'une phase préliminaire essentielle. Celle-ci a débuté pendant la période de mesures intensives de l'automne 1988. A ce jour, les conclusions suivantes ont été tirées :

- (a) Le paramètre prévu est la survenance d'un brouillard dans une région et il convient de distinguer entre un brouillard généralisé et localisé. Aucun chiffre n'est fourni pour la prévision de la visibilité minimale : dans le cas d'un brouillard localisé, la détection demeure très vague.
- (b) L'apparition de brouillards locaux est sous-estimée. Le météorologiste ne dispose pas d'une vue suffisamment large de la région concernée ni des différences de comportements régionaux. La principale raison réside dans l'absence de mesures de visibilité par rapport à la variabilité du brouillard dans l'espace.

Cette évaluation continuera de mesurer l'impact du travail du groupe scientifique. Elle sera opérationnelle en octobre 1989, car la phase achevée l'an dernier nous a permis de peaufiner nos idées sur les moyens d'évaluation.

#### 5.3.2.4.5. Application à la prévision : méthode dynamique

Une stratégie a été élaborée pour appliquer les résultats de la recherche fondamentale à l'amélioration des prévisions de brouillard et le travail correspondant a débuté. Dans la région de Lille, le groupe de travail scientifique s'est fixé comme premier objectif d'établir une procédure de prévision du brouillard 12 heures à l'avance.

- (a) Un modèle simplifié a été conçu sur base du modèle complet de développement d'une nappe de brouillard (qui est utilisé en recherche fondamentale et est trop exigeant en termes d'heures machine pour être intégré dans des prévisions opérationnelles).
- (b) L'initialisation du modèle a été achevée : pour disposer d'un état initial du modèle suffisamment précis, il est essentiel de posséder des informations fiables sur les développements à moyenne échelle des paramètres de thermodynamique et de rayonnement par les simulations, ce qui requiert d'achever un module d'analyse régionale des paramètres prédominants du modèle local. Cette analyse repose sur le réseau IRMA (réseau de stations météorologiques automatiques selon une trame de

25 km environ), le site de Carnin et les données PERIDOT (modèle de prévision météorologique selon une trame de 35 km) pour des endroits proches du point de calcul. Nous disposons donc d'un état initial cohérent du modèle et pouvons appliquer les développements de PERIDOT en liaison avec les données régionales analysées.

#### 5.3.2.5. Travail actuel et futur

##### 5.3.2.5.1. Amélioration du modèle fondamental

\* Modélisation : maintenant que les données récoltées pendant la période de mesures intensives (automne 1988) ont été validées, nous devons valider le comportement du modèle de simulation de brouillard en le comparant aux situations observées.

\* Télé-détection : nous tenterons de coordonner les images infrarouges et les mesures de visibilité au sol pour surmonter le besoin d'images visibles et permettre un travail de nuit.

##### 5.3.2.5.2. Méthode dynamique de prévision régionale du brouillard (suite)

Nous avons vu l'élaboration du modèle de développement et de son initialisation. Les phases suivantes doivent être achevées avant d'élaborer un système opérationnel facilitant les prévisions de brouillard :

- (a) Affiner les conditions initiales : pour ce faire, dix stations au moins du réseau IRMA doivent être équipées de visibilimètres de sorte que la visibilité puisse être intégrée dans la phase initiale.
- (b) Introduire un modèle d'interaction complet sol/atmosphère fournissant une description de la nappe limite diurne et permettant d'étendre les applications du modèle à la phase de dissipation du brouillard.
- (c) La simulation doit tenir compte de l'hétérogénéité du sol, ce qui nécessite un modèle numérique tridimensionnel (et non un modèle unidimensionnel comme le requiert actuellement l'hypothèse d'un sol homogène). Ce modèle est en cours d'élaboration.
- (d) Toutes les deux semaines environ, représenter les caractéristiques hydrologiques et végétales de la région au moyen d'une télé-détection satellitaire de sorte que ces paramètres puissent être ajustés de façon réaliste.

La majeure partie de ce travail devrait être achevée en 1991. Le système complet sera donc mis en service au cours de l'hiver 1991/1992. La précision des prévisions devra naturellement encore être contrôlée pour déterminer l'apport du système.

#### 5.3.2.5.3. Les systèmes experts

Cette approche diffère fortement de la modélisation déterministe du brouillard. Elle repose sur l'instauration de règles impliquant une probabilité numérique d'apparition du brouillard en un lieu donné. Chaque lieu où la technique est appliquée doit faire l'objet d'une série de règles (par opposition à la modélisation qui est censée être universellement applicable).

L'Office national météorologique a tenté d'explorer cette voie dans la région de Tours. Des règles ont été principalement établies par des moyens statistiques et non sur base de l'expérience humaine. Au cours de l'hiver prochain, une première version sera mise en service à titre expérimental. Des travaux seront réalisés en parallèle sur les possibilités d'enrichissement des données initiales. Si les résultats sont satisfaisants, le problème de la "transportabilité" de la méthode se posera, auquel cas le site de Carnin constituerait un bon site d'essai.

#### 5.3.2.6. Conclusion

Le programme scientifique du groupe de travail scientifique "brouillard" est aussi vaste que le défi posé par l'amélioration de la précision des prévisions de brouillard. Le programme est désormais bien engagé. Les deux prochaines années seront décisives pour le succès du programme et particulièrement pour l'aspect prévisionnel en tant que tel.

### 5.4. RADAR METEOROLOGIQUE

#### 5.4.1. INTRODUCTION

La nature des divers services de météorologie routière européens diverge, mais leur travail se concentre essentiellement sur trois dangers : les effets de la neige et la glace en hiver, les effets de pluies abondantes en été et l'apparition de brouillard et la mauvaise visibilité toute l'année avec une recrudescence pendant la saison froide. Le radar météorologique peut minimiser les effets de ces dangers en proposant des informations directes dans les deux premiers cas et, parfois, des informations indirectes à caractère prévisionnel dans le cas des brouillards. Depuis plus de dix ans, de nombreux pays puisent des informations sur les précipitations dans les données fournies par les radars météorologiques et leurs limites sont largement connues en matière de précision quantitative. L'utilité des informations radar réside surtout dans leur opportunité - due à une acquisition en temps pseudo-réel - et dans leur couverture tridimensionnelle de vastes volumes de l'atmosphère. Un service de météorologie routière opérationnel peut tirer profit de ces avantages.

Les décisions au jour le jour que doivent prendre les services régionaux d'entretien des routes reposent habituellement sur plusieurs sources d'information. Les stations de météorologie routière fournissent des mesures ponctuelles. De nombreux pays mettent, via leurs offices météorologiques, des services de prévision météorologique à la disposition de leurs agences des ponts et chaussées. Ces services peuvent aussi inclure, sous une forme ou une autre, des données de radar météorologique réelles alors que, dans d'autres cas, les météorologistes utilisent les données du radar météorologique pour contrôler et mettre à jour leurs prévisions de météorologie routière. L'utilité du radar météorologique traditionnel dans le cadre de la météorologie routière réside dans les caractéristiques suivantes :

- vaste couverture régionale (jusqu'à un rayon de 300 km) à partir d'un seul point;
- rapidité dans le temps de la mise à jour des données (entre 10 et 30 minutes),
- résolution horizontale précise (1 à 5 km),
- corrélation observée entre les échos du radar météorologique et les précipitations de surface, ce qui permet d'évaluer l'intensité des précipitations.

En dépit de ces propriétés apparemment intéressantes, les applications des données de radars météorologiques aux problèmes de la météorologie routière sont nettement moins nombreuses qu'on pourrait le penser, compte tenu, d'une part, du vaste recours au radar météorologique pour les prévisions de routine depuis plus de vingt ans et, d'autre part, de la numérisation des données radar exécutée dans de nombreux pays européens depuis dix ans ou plus.

#### **5.4.2. EXPLOITATION DU RADAR METEOROLOGIQUE : VUE D'ENSEMBLE**

L'exploitation d'une grande partie, voire de la vaste majorité des radars météorologiques incombe aujourd'hui à l'agence nationale responsable des services météorologiques. Les données provenant du radar météorologique sont utilisées seules ou conjointement à d'autres données météorologiques pour former la base des services proposés à un vaste éventail d'utilisateurs dont les exigences sont quelque peu conflictuelles, surtout en matière de vitesse de répétition et de fraîcheur de la collecte des données. La majorité des utilisateurs semble assez se satisfaire d'une résolution horizontale de 2 à 5 km. Compte tenu de la fréquence d'acquisition de nouveaux ensembles de données, certains utilisateurs (p. ex. contrôle du trafic aérien) exigent des vitesses de mise à jour de quelques minutes (5) ainsi qu'un calcul rapide de la mise à jour d'une nouvelle image. Il se peut que d'autres utilisateurs (comme les hydrologistes) ne demandent pas des mises à jour ou des calculs aussi rapides, mais désirent en revanche une évaluation très précise des précipitations pour les calculs de débit. Les exigences de l'aviation et de

la météorologie générale soulignent l'importance de collectes de données tridimensionnelles alors que les hydrologistes s'intéressent uniquement aux précipitations qui touchent le sol. Vu ces exigences variées, les radars ne remplissent pas les mêmes tâches partout en Europe et leur utilisation dépend surtout de l'aspect privilégié. L'exploitation et les caractéristiques techniques réelles des radars font l'objet d'un compromis, particulièrement dans le domaine de la longueur d'onde et de l'ouverture du faisceau d'antenne employées. Les questionnaires proposés dans le cadre du projet COST 73 montrent que la plupart des pays appliquent un temps de mise à jour de 10 à 15 minutes et un temps de calcul de 5 minutes environ.

Presque tous les pays effectuent leurs observations avec plus d'un angle d'élévation et la plupart d'entre eux réalisent de véritables collectes de données tridimensionnelles. De nombreux pays rassemblent aussi régulièrement leurs données radar pour former l'image composite de COST 73 qui est conçue sur les ordinateurs de l'Office météorologique britannique et rediffusée aux quatre coins de l'Europe. Ils disposent en outre de canaux de diffusion par lesquels les données graphiques peuvent être envoyées aux utilisateurs spécialisés qui possèdent des terminaux micro-informatiques conçus pour afficher ce type de données. Il semble donc que la majorité des pays dispose déjà ou pourrait disposer à faible coût des ingrédients de base nécessaires pour fournir aux responsables de l'entretien des routes un service tirant profit des données des radars météorologiques.

#### 5.4.3. PROBLEMES POSES PAR L'EXPLOITATION DES DONNEES DES RADARS METEOROLOGIQUES

Vu la situation apparemment prometteuse, il semble utile de passer en revue les problèmes connus qui entravent l'application directe des données d'un radar météorologique à la météorologie routière. Ces difficultés sont les suivantes :

- interprétation des champs d'intensité radar observés,
- baisse de la corrélation intensité de l'écho/intensité des précipitations en fonction de la portée,
- baisse de l'utilité d'une méthode de prévision simple en fonction du temps,
- variation de la phase hydrométrique en fonction de l'altitude,
- faux échos.

Il convient aussi de se rappeler que tous les services météorologiques nationaux sont contraints à des degrés divers de rationaliser leurs ressources humaines de sorte que, dans la mesure du possible, les méthodes automatisées sont continuellement privilégiées. Nous avons souvent constaté qu'il est extrêmement délicat de concevoir une exécution fiable par l'ordinateur d'actions qui semblent anodines pour l'oeil et la main de l'homme.



#### 5.4.3.1. Interprétation du champ d'intensité de l'écho radar

Il est bien connu que les intensités d'un écho de radar météorologique mesurent indirectement le nombre et la taille des éventuelles gouttelettes d'eau présentes dans le volume mesuré. Les échos peuvent malheureusement aussi provenir d'autres sources telles que les oiseaux, les avions, les limites de l'indice de réfraction dans un ciel clair et, pire encore, de sources terrestres. Dans certains cas, ces dernières peuvent apparaître à des portées et des angles d'élévation anormaux et présenter une intensité qui indiquerait normalement des pluies moyennes ou abondantes. De nombreux travaux ont été consacrés à l'élimination de ces échos par un traitement des signaux ou des techniques logicielles. L'utilisation de données satellite infrarouges semble être promise au plus bel avenir bien qu'il faille encore l'essayer dans des conditions hivernales et en présence des profondes inversions typiques de l'Europe du Nord. Des améliorations peuvent probablement être attendues d'un schéma décisionnel recourant à plusieurs autres sources de données météorologiques telles que les images satellite infrarouges, la nébulosité prévue sur base de modèles et l'observation synoptique des nuages. Les anomalies ponctuelles telles que celles dues aux avions peuvent être assez aisément éliminées par certains filtres.

L'effet de la couche fondante - lorsqu'elle est présente - constitue une autre source d'erreur potentielle de l'interprétation des données d'un radar météorologique et particulièrement des données qui proviennent directement d'un balayage PPI dont la hauteur croît avec la portée. Le changement de forme, la vitesse de chute et le revêtement d'eau liquide qui accompagnent la fonte de précipitations en phase solide lors du passage d'une isotherme du point de gelée provoquent la formation d'une "bande brillante" - couche peu profonde marquant une intensité accrue de l'écho. Sur une image PPI, cette couche se présente approximativement sous la forme d'une intensité moyenne accrue entre deux portées. Vu la variabilité normale de l'intensité de l'écho dans l'espace et du phénomène proprement dit, elle s'observe rarement comme une ligne ininterrompue, sauf à des angles d'élévation élevés et dans des conditions de précipitations uniformes. De par sa nature, le phénomène n'apparaît pas dans des conditions normales de chutes de neige.

Il se peut que la principale difficulté de l'interprétation d'un champ d'intensité d'un écho radar - raison pour laquelle les météorologistes radar hésitent aussi à diffuser des données non interprétées à des non-spécialistes - réside dans l'interprétation de zones exemptes d'échos. En l'absence d'échos observés à une portée, un azimut et une élévation précis, il est clair que l'intensité de l'écho radar pour le volume observé ne dépasse pas le seuil d'intensité pour cette portée.

Dans ce cas, les possibilités suivantes (sans être limitatives) sont habituellement envisageables :

- Les particules du nuage ou de la précipitation - si elles existent - du volume observé sont trop petites et/ou trop peu nombreuses pour être observées par le radar à cette portée; elles peuvent toutefois constituer ou produire des pluies légères à modérées à des portées extrêmes. Le simple effet d'atténuation de la portée (I/R 2) comprend l'effet dû aux gaz, mais aussi aux nuages et aux précipitations à des portées inférieures, ainsi que l'effet d'un remplissage de faisceau imparfait.
- Bien qu'absente à cette hauteur, une cible météorologique évaluable peut exister sous le faisceau radar. Vu la courbure de la surface de la terre, des profondeurs de plus en plus grandes de l'atmosphère demeurent sous le faisceau radar minimum à mesure que les portées augmentent et ne peuvent dès lors pas être observées.
- Des cibles non observées peuvent se situer au-dessus du faisceau.

#### 5.4.3.2. Corrélation intensité de l'écho/intensité des précipitations en fonction de la portée

De nombreuses recherches ont été consacrées à la corrélation entre l'intensité des précipitations mesurée au niveau du sol et l'intensité de l'écho radar lié à ces précipitations. Cette corrélation est appelée "rapport Z/R" dans la suite du texte. De nombreux facteurs sont responsables de la variation de cette corrélation et une analyse complète est impossible dans le cas présent. Il suffira peut-être d'attirer l'attention sur les facteurs qui influencent particulièrement l'évaluation de l'intensité d'une chute de neige, ce qui importe surtout pour l'entretien des routes.

De nombreuses expériences visant à déterminer le(s) rapport(s) Z/R ont été tentées sur une courte période et dans des conditions relativement idéales et uniformes. Le spectre de chute des précipitations présentes sous la couche fondante a été supposé (et dans certains cas prouvé) assez constant avec la hauteur, du moins pour des pluies de face continues, et des valeurs stables du rapport Z/R ont ainsi souvent été révélées et reliées au type de précipitation (pluies continues, crachins, averses). Dans des conditions d'exploitation, il faut tenter d'évaluer l'intensité des précipitations à des portées supérieures à l'optimum. Même en recourant à l'élévation minimale possible du faisceau radar, la mesure radar est exécutée à une hauteur toujours croissante au-delà du niveau de la donnée radar et la variation verticale apparente du rapport Z/R revêt alors une importance capitale. Nous pouvons aussi y inclure le cas particulier de la "bande brillante" qui, si elle est interprétée en termes d'intensité des précipitations, produira des estimations très excessives. Un gradient vertical considérable d'intensité d'écho surmonte habituellement la bande brillante où les hydrométéores sont

solides. Ce gradient de réflectivité résulte physiquement du processus de transformation des hydrométéores en nuage. Le profil de réflectivité dépend naturellement aussi du type de processus et diffère pour des nuages stratiformes et cumuliformes à divers stades de croissance. Vu les réflexions relatives au remplissage du faisceau radar, le gradient lui-même semble aussi dépendre de la portée lorsqu'il est réellement mesuré.

L'affaiblissement avec la portée de la corrélation entre les précipitations et l'intensité de l'écho radar est dès lors aussi dû à la variation introduite par une seconde corrélation - à savoir entre l'intensité de l'écho radar à un niveau élevé, puis à un niveau inférieur. L'évaluation de l'intensité des précipitations peut être améliorée en recourant à une correction qui repose sur une évaluation radar en temps réel du gradient de réflectivité vertical plus proche du radar. Il est heureux de constater que les services des ponts et chaussées n'insistent pas trop sur une précision absolue des évaluations de précipitations mais, même dans cette application, les corrections de portée doivent être fortement souhaitables pour évaluer l'intensité des chutes de neige.

#### 5.4.3.3. Utilité des méthodes de prévision simples

Il ne suffit pas de recourir aux images météorologiques antérieures, notamment de l'intensité estimée des précipitations, pour appliquer efficacement des données radar à un service de météorologie routière. Il est préférable de prendre des décisions d'épandage et de déneigement plusieurs heures avant qu'elles ne s'avèrent nécessaires et, par conséquent, les services des ponts et chaussées ont idéalement besoin de prévisions pour les routes de la région dont ils sont responsables. Des méthodes de prévision simples reposant sur des évaluations de la vitesse de déplacement des échos radar sont appliquées depuis de nombreuses années. Le recours à des radars uniques hypothèque l'utilité des prévisions pour des délais supérieurs à 90 minutes environ, ce qui est insuffisant pour des applications de météorologie routière compte tenu non seulement du délai souhaité de 1 à 2 heures, si possible pour toute la région couverte par le radar, mais aussi du temps séparant la collecte de données et la fourniture des prévisions (15-30 minutes). En hiver, vu le caractère superficiel de nombreux systèmes de précipitation et leur faible réflectivité (particulièrement à des niveaux élevés, comme nous l'avons déjà mentionné dans la partie précédente), il se peut que des zones d'écho évaluables ne puissent être observées que dans un rayon de, disons, 100 km du radar, ce qui réduit fortement les délais pour les zones radar face au vent. Lorsque les précipitations couvrent toute la zone entourant le radar, on observe généralement que les images PPI (et CAPPi) présentent des échos quasi circulaires centrés sur le radar et que des vecteurs de déplacement fiables ne peuvent en être extraits avant l'apparition d'un bord arrière du champ d'écho. Dans les climats septentrionaux, où des chutes de neiges appréciables peuvent provenir de systèmes nuageux relativement bas (3 à 4 km de profondeur)

dont l'écho ne peut être éloigné du radar que de quelque 80-100 km, les limites des observations par radar unique sont manifestes en matière d'évaluation de la vitesse de l'écho.

Toutefois, un rapport sur les essais d'une méthode de prévision par poursuite centrée sur l'écho qui ont été effectués au Royaume-Uni au moyen d'un réseau de quatre radars montre que la période utile (délai) de ce type de prévisions peut atteindre 6 heures dans certaines conditions météorologiques. Il importe d'appliquer les méthodes aux échos d'une section CAPPI (altitude constante) pour éviter les effets de la portée présents dans des sections PPI. Les effets de polarisation des bords de l'image et des échos permanents doivent aussi être éliminés. Des champs exempts d'échos peuvent éventuellement être modifiés en ajoutant, à des fins de prévision, les échos advectés d'images antérieures, ce qui pourrait s'avérer particulièrement précieux dans des situations hivernales de systèmes de précipitations peu profonds. Dans de vastes zones couvertes par un réseau de radars, le vecteur de déplacement de l'écho doit être déterminé pour des zones plus petites, par analogie avec la détermination similaire des déplacements des nuages dans les applications satellitaires, pour tenir compte de la variation naturelle du vecteur de déplacement sur toute la région.

#### 5.4.3.4. Changements de la phase hydrométrique dans le sens vertical

Comme nous l'avons déjà mentionné, le changement de forme et de phase des hydrométéores lors de leur chute pose problème en raison de la formation d'une "bande brillante" et d'une variation du rapport Z/R. Il faut aussi tenir compte d'un facteur supplémentaire qui est particulièrement fâcheux lorsque la température de la surface est égale ou à peine supérieure à zéro. A l'exception des zones très proches du radar, la bande brillante n'est absolument pas mise en évidence dans ce cas et les précipitations sont supposées être de la neige. Toutefois, les vrais hydrométéores qui touchent le sol peuvent varier entre la pluie - qui ne posera probablement aucun problème d'entretien des routes (sauf en éliminant le sel ou en accroissant la glissance des routes verglacées) - et la neige humide en passant par la neige fondue. L'effet est naturellement amplifié dans des pays très montagneux. La transformation des précipitations à leur arrivée au sol pose un problème distinct; la neige se déposera-t-elle, fondra-t-elle entièrement ou partiellement, la pluie s'écoulera-t-elle ou formera-t-elle un verglas? Pour résoudre ces dernières questions, il pourrait être préférable de se tourner vers les données fournies par les stations de météorologie routière et l'expérience alors que le premier problème est essentiellement de nature météorologique.

Il peut être possible de surmonter les difficultés en combinant des données topographiques, des résultats de sondage et des informations provenant de stations de surface pour élaborer des cartes précises des températures de la surface qui seront associées aux données radar en vue de déterminer une carte des précipitations incluant la phase probable des hydrométéores au niveau de la route. En présence de précipitations permanentes, l'isotherme du point de gelée a tendance à baisser, un facteur dont il faut également tenir compte ici.

#### 5.4.4. FORMATAGE DES DONNEES DESTINEES AUX SERVICES DES PONTS ET CHAUSSEES

De nombreux pays proposent déjà un service météorologique spécial aux responsables locaux de l'entretien des routes. Ces services ont probablement été installés en collaboration avec les autorités concernées. Voici quelques réflexions sur les avantages que pourraient représenter les données des radars météorologiques pour ces services météorologiques.

Il serait préférable de proposer principalement des données "prédigérées" plutôt que des diagrammes ou des tableaux spéciaux d'informations spécifiques sur les précipitations attendues ou la simple image de l'écho radar à partir de laquelle les responsables de l'entretien des routes devraient tirer des conclusions par leurs propres moyens. Les arguments plaçant en faveur de cette solution sont les suivants :

- Compte tenu de ce qui précède, un certain degré de spécialisation, qui ne peut être raisonnablement exigé de toutes les personnes concernées par l'entretien des routes, est nécessaire pour interpréter une image d'écho radar - PPI, CAPPI ou autre.
- Le nombre de facteurs impliqués dans l'élaboration de prévisions (sauf mécaniques) est tel qu'un ordinateur peut et devrait servir à les objectiver et à présenter les résultats sous une forme facile à utiliser.
- Comme la principale tâche de nombreuses équipes d'entretien des routes porte surtout sur certaines autoroutes, une diffusion régionale détaillée de toutes les informations est inutile. De plus, le temps de diffusion (et éventuellement de visualisation) est plus long et la mémorisation possible sur disque au niveau local occupe plus de place.
- Un processus décisionnel local implique beaucoup plus que de simples facteurs météorologiques, et un traitement et une préparation maximaux des données météorologiques doivent donc être préconisés.

Toutefois, il convient de conserver un volume limité de données sous une forme relativement brute pour permettre une vérification rapide de la vraisemblance globale des prévisions produites par la machine. Pour des données radar, il

pourrait s'agir d'une image présentant une résolution relativement basse (sauvegarde de qualité vidéotex) contenant la dernière couverture du réseau radar pour la région concernée et ses environs. Les diagrammes et les tableaux devraient inclure des prévisions telles que : début des précipitations, durée des précipitations à divers niveaux d'intensité, fin des précipitations, volume total de précipitations, moment du changement de phase. De plus, les erreurs admissibles et la situation réelle devraient être visualisées pour permettre d'évaluer la qualité des prévisions. Les tableaux peuvent visualiser les informations pour des points fixes d'intérêt stratégique alors que les graphiques de séries chronologiques peuvent parfaitement montrer - avec les prévisions - l'allure des précipitations en ces points. Les résultats peuvent aussi se présenter sous la forme d'une carte montrant notamment les isochronismes de début et de fin des chutes de neige sur un réseau routier stylisé. Des systèmes de couleurs assouplissent considérablement les représentations.

Jusqu'ici, nous avons à peine abordé l'application des données de radars météorologiques à des domaines autres que la météorologie routière. Pendant les mois d'été, les risques les plus fréquents pour les usagers de la route sont les fortes averses ou les pluies modérées ou abondantes continues qui peuvent soit provoquer des accumulations locales d'eau susceptibles d'inonder la route ou, du moins, de réunir les conditions de l'aquaplanage, soit entraîner de brusques inondations et des destructions de bâtiments. Des précipitations de ce type, qui affectent directement la sécurité des usagers de la route, résultent de formations de nuages dont les échos peuvent être détectés par un radar météorologique avec une certitude quasi absolue. Un schéma d'avertissement réussi doit absolument minimiser le laps de temps entre l'observation radar et la réception de l'avertissement par l'utilisateur de la route. Il est nettement moins évident de prévoir des nuages cumuliformes que des nuages stratiformes de sorte que la base des avertissements semblerait être le temps réel. Il peut tout au plus s'agir de prévisions à très court terme (15-30 minutes). Les services de communication actuellement élaborés en matière de météorologie routière promettent d'être idéaux pour ce genre d'avertissements - ils sont directement diffusés au véhicule en mouvement et ne supposent notamment pas que la radio du conducteur soit branchée et réglée sur la fréquence correcte. Des panneaux indicateurs électroniques de vitesse doivent être éventuellement placés au bord de la route et accompagnés de textes d'information expliquant clairement la situation. Les services météorologiques auraient alors besoin d'une liaison informatique directe avec tout le système d'avertissement routier de manière à accélérer au maximum le temps de réaction face aux risques observés par radar. Pour minimiser la fréquence des fausses alertes, il est probable que les données radar devraient être associées à d'autres sources de données météorologiques telles que les satellites et les stations météorologiques automatiques.

#### 5.4.5. LE PROJET DE RADAR METEOROLOGIQUE EN SUISSE

Les deux stations de radar météorologique suisses produisent une image composite toutes les 10 minutes. Celle-ci est directement transmise par ligne téléphonique PTT louée à l'Office fédéral des ponts et chaussées où elle est d'abord stockée dans un ordinateur MicroVAX. Un ordinateur auxiliaire est connecté aux ordinateurs des centres d'entretien via un réseau informatique PPT. Cette liaison peut aussi être établie par réseau téléphonique ordinaire, ce qui peut en fin de compte s'avérer moins onéreux.

Les ordinateurs personnels des centres d'entretien sont programmés pour appeler toutes les dix minutes une nouvelle image radar à l'Office des ponts et chaussées. Ils sont capables de stocker de 10 à 50 images couvrant les six dernières heures. La nouvelle image remplace l'image la plus ancienne qui est alors effacée. Les centres d'entretien sont dès lors toujours informés de la situation la plus récente.

Le programme permet de visualiser les images radar de diverses manières :

- premièrement, les images peuvent être examinées une à une pour couvrir les six dernières heures;
- la fonction zoom permet de grossir entre 2 et 8 fois tout élément de l'image, par exemple une portion de route. Pour ce faire, il suffit de marquer avec le curseur les angles de la zone souhaitée. Il s'agit bien sûr d'un simple agrandissement destiné à simplifier la localisation d'un front de précipitations et la puissance de résolution demeure inchangée. La partie agrandie peut être visualisée à côté de l'image entière ou seule;
- enfin, les 10 à 20 images stockées peuvent être successivement visualisées sous forme de film. Cette méthode convient particulièrement pour reconnaître et localiser la progression d'un front de précipitations. Avec l'expérience, il est possible d'évaluer la vitesse de progression et l'heure d'arrivée en un endroit précis.

Durant la période d'essai, la troisième forme de visualisation - le défilement des images en boucle - a énormément intéressé les responsables de l'entretien des routes. Un centre d'entretien des autoroutes et deux centres d'entretien des voies urbaines ont participé à cette expérience qui s'est étalée sur deux hivers. Une fois formés, les responsables de l'entretien des routes ont été parfaitement capables de lire les images avec précision et de les interpréter correctement.

Toutefois, les deux difficultés suivantes ont notamment surgi :

- les responsables de l'entretien des routes ont été incapables de déterminer si les précipitations qu'ils localisaient sur l'image étaient de la pluie ou de la neige;
- il a été difficile d'apprécier à l'avance le volume de précipitations visibles qui atteindrait finalement le sol.

Dans une certaine mesure, ces difficultés sont imputables au système. Les météorologistes de l'institut disposent bien évidemment d'autres outils pour combler ces lacunes d'information et nous examinerons les méthodes qui peuvent être raisonnablement transmises aux centres d'entretien.

Les responsables de l'entretien des routes qui utilisent un radar météorologique doivent recevoir une formation spéciale. Les cours devraient être organisés avant chaque hiver. Un recyclage des personnes chargées de l'entretien hivernal sera organisé tous les 2 ou 3 ans et, à cette occasion, leurs connaissances météorologiques seront complétées. Dans le même temps, une formation sur les nouveaux développements des services, techniques et équipements de météorologie routière sera dispensée. Chacun doit connaître le type d'information qu'il peut attendre des données météorologiques disponibles. Cela s'applique aussi aux données fournies par les systèmes d'avertissement anticipé de glace dont l'utilisation, pour être fructueuse, doit faire l'objet d'une formation soignée.

#### 5.4.5. CONCLUSIONS

Cette présentation a tenté de montrer que, malgré les nombreuses difficultés inhérentes à l'emploi des données de radars météorologiques en vue d'aider des services de météorologie routière - à la fois pour des services d'entretien des routes et à l'intention directe des usagers de la route -, le savoir-faire météorologique et technique suffit déjà pour consacrer ces données à l'approvisionnement ou à l'amélioration de ces services. Un des facteurs fondamentaux des prévisions de précipitations à court terme réside dans l'emploi de données radar provenant non pas de radars individuels, mais d'un réseau de radars opérationnel. Nous acquérons déjà l'expérience de ce type de réseau dans le cadre du projet COST 73 qui, dans un avenir proche, vise aussi à étendre la zone couverte par le réseau ainsi qu'à (ce qui revêt une importance capitale pour les prévisions de météorologie routière) accroître la fréquence de mise à jour et à raccourcir le temps de production de l'image composite du réseau. De plus, des propositions de nouveaux types d'images incluant une image prévisionnelle sont à l'étude. La mise à disposition de ces nouveaux produits améliorera indubitablement le transport routier, particulièrement dans le cadre de l'ère supranationale qui s'ouvre actuellement en Europe. Quoi qu'il en soit, les images radar en tant que telles ne constituent pas à elles seules des informations suffisantes pour les services des ponts et chaussées et le service météorologique traditionnel demeure donc nécessaire.

#### REFERENCES

NYSTEN, E. et R.H. KING, 1990, "The Use of Weather Radar Data in Road Weather Services: Present and Future Needs" ("L'application des données de radars météorologiques aux services de météorologie routière : besoins actuels et



futurs"), séminaire sur le projet COST 73, gestion de réseaux de radars météorologiques, EUCOCOST 73/52/90, EUR 12414 en-fr, Bruxelles et Luxembourg, p. 557-565.

Schlup, U., 1990, "Weather Radar in Road Maintenance" ("Le radar météorologique dans l'entretien des routes"), VII<sup>e</sup> Congrès international sur les routes en hiver Piarç, Tromsø, Norvège, actes, vol. 2, p. 59-63.

#### 5.5. Prévision à court terme, prévision des conditions de circulation routière

Dans le cadre du projet COST 309, l'Administration nationale suédoise des ponts et chaussées (SNRA) nous a priés de recenser et d'évaluer les prévisions de météorologie routière existantes et de prévoir les conditions de circulation routière.

Via son célèbre modèle de prévision de température à la surface de la route, l'Office météorologique de Bracknell est la seule organisation à avoir répondu au questionnaire. Nous connaissons, d'une part, le modèle de bilan énergétique employé par l'Office météorologique suédois pour prévoir les températures de la surface et, d'autre part, l'évaluation de la température de la surface à laquelle recourt régulièrement le VVIS suédois sur base de valeurs normalisées. Nous avons ensuite reçu un stencil d'Autriche, ce qui explique la brièveté du présent rapport.

##### 5.5.1. Le modèle de prévision de glace de l'Office météorologique, Bracknell

Les modèles de l'Office météorologique et du TMI présentent une conception identique; tous deux emploient presque les mêmes paramètres d'entrée et prévoient heure par heure les températures et l'humidité à la surface de la route pour les 24 heures suivantes. La physique des deux modèles est relativement différente, mais les résultats obtenus sont très acceptables.

Les entrées des deux modèles sont très proches; des paramètres relatifs à la surface de la route réelle (s'ils existent) et des prévisions de paramètres météorologiques constants ou des moyennes sur trois heures servent à prévoir les températures et l'humidité à la surface de la route pour une période de 24 heures (de midi à midi). Les entrées diffèrent légèrement entre le TMI et l'Office météorologique.

En bref, le modèle est unidimensionnel et calcule l'équilibre thermique d'une carotte verticale de la route et du sous-sol jusqu'à une profondeur légèrement supérieure à un mètre (à un endroit présentant de faibles variations des températures diurnes). Les entrées non météorologiques permettent de calculer l'élévation solaire et comprennent aussi l'épaisseur ainsi que la conductibilité et la capacité thermique de l'encaissement et de son sous-sol. Les entrées météorologiques servent à déduire le bilan énergétique de la surface et, partant, le flux de chaleur net en direction ou en provenance de la carotte. Les flux de chaleur et le profil de température de la carotte se calculent au moyen d'une équation de conduction dans un schéma différentiel fini où la carotte est divisée en vingt couches dont l'épaisseur varie progressivement de 0,01 m à la surface à 0,1 m à la base. Le système d'équations est utilisé avec un pas de temps d'une minute environ et, à chaque pas de temps, une interpolation des données météorologiques est exécutée à partir des valeurs de prévision les moins fréquentes (toutes les trois heures).

L'élévation solaire, qui se calcule à partir de l'heure de la journée, de la saison et de la latitude, détermine le flux énergétique avant atténuation par l'atmosphère terrestre. Grâce aux estimations du volume total de vapeur d'eau dans la colonne atmosphérique - qui reposent sur le point de rosée à la surface -, la valeur de surface du flux solaire peut être calculée après absorption ou dispersion par les gaz atmosphériques, la vapeur d'eau et les aérosols. L'atténuation supplémentaire par les nuages est déterminée par le type de nuage et sa couverture fractionnée.

La composante descendante (à partir d'un ciel clair) est évaluée en fonction de la température de la surface et du point de rosée. Elle s'élève normalement à 75 % du rayonnement émis par un "corps noir" à la même température. La composante ascendante se calcule facilement à partir de la température de la surface.

Les vitesses de l'échange turbulent de chaleur et d'humidité entre la surface de la route et l'atmosphère sont contrôlées par l'ampleur de la turbulence, les gradients verticaux de température et d'humidité dans la troposphère et l'humidité de surface. La turbulence formée par le cisaillement du vent grandit linéairement avec la vitesse du vent. Pendant la journée, cette turbulence est accrue par les ascendances thermiques flottantes qui proviennent de la surface chauffée par les rayonnements solaires. Pendant la nuit, la perte de rayonnements de la surface refroidit la troposphère et, dans ces conditions d'inversion stables, le gradient vertical de la densité de l'air contribue à supprimer la turbulence causée par le cisaillement du vent. Par conséquent, la turbulence atmosphérique est réduite à des valeurs très basses par nuit claire et vents légers : les transferts descendants de chaleur et de vapeur d'eau (chaleur latente) sont alors négligeables entre l'air et

la surface, le refroidissement est donc maximum dans ces conditions. Inversement, les jours légèrement venteux présentent des niveaux de turbulence atmosphérique inférieurs aux jours venteux et l'échauffement solaire de la surface provoque une hausse des températures de la surface. Dans des conditions climatiques nuageuses ou venteuses, il est évident que les différences entre la température de l'air et de la surface seront minimales.

La théorie permet aussi de représenter la turbulence atmosphérique en fonction du cisaillement du vent et de la stabilité atmosphérique pour exprimer l'échange de chaleur entre la surface de la route et l'air la surmontant en termes de différence de température entre la surface et l'air. L'échange d'humidité peut être représenté de la même façon mais, pour déterminer le sens de l'échange, il importe surtout de savoir si la température de la surface est supérieure ou inférieure au point de rosée de l'air : dans ce dernier cas par exemple, la vapeur d'eau est transférée vers le bas et se dépose sur la surface de la route sous forme de rosée ou de gelée.

Le flux de chaleur vertical de l'encaissement et de son sous-sol est déterminé par la variation de la température en fonction de la profondeur et de la conductibilité thermique locale. A toutes les profondeurs de la carotte (qui, à la surface, représente bien évidemment la principale sortie du modèle), la variation de température résulte, en fonction de l'heure, de la capacité thermique locale et de la variation du flux de chaleur avec la profondeur. Il nous a été impossible d'exécuter des essais de fonctionnement avec le modèle mais, selon les rapports publiés, les erreurs de température minimale journalière et les différences moyennes globales entre les valeurs du capteur et du modèle sont respectivement de l'ordre de 1,5 °C et de 0,75 °C environ.

Les avantages du modèle utilisé résident dans la grande attention accordée aux changements synoptiques et aux possibilités de prévision à plus long terme. En revanche, ce modèle exige un travail considérable des météorologistes, ce qui devrait influencer négativement une analyse coûts-avantages.

Ce type de modèle a aussi été utilisé aux Pays-Bas. En Autriche, un modèle de prévision automatique de la température de l'air, de la surface et du point de rosée pendant une période de trois heures a été mis au point. Il s'agit d'un modèle de bilan thermique. Les données à traiter présentent un intérêt particulier à partir du point de gelée. Toutefois, aucun capteur du point de gelée n'a été utilisé. Les prévisions météorologiques sont prises en considération. Aucun résultat d'essai n'est présenté.

#### 5.5.2. La prévision de la température de la surface de l'Office météorologique suédois

Depuis l'hiver 1988/1989, un modèle de bilan énergétique sert tous les ans à évaluer les températures du sol dans le cadre d'un système de service

météorologique destiné aux services des ponts et chaussées des comtés d'Östergötland et de Göteborg-Bohus. Ce modèle repose sur une forme simplifiée de l'équation de bilan énergétique à la surface et un modèle numérique comptant dix couches dans le sol ou la route. Dans le système destiné à la surface de la route, des prévisions de nuages et de vent sont introduites manuellement et servent d'entrées dans le modèle. Les valeurs initiales des températures de la surface s'obtiennent en direct par l'entremise des stations routières connectées. Des prévisions de températures de la surface ont été exécutées pendant cinq heures maximum et ont notamment donné des résultats nettement supérieurs à des prévisions de continuité ou de tendance linéaire. Le système de service routier est mis à jour deux fois par heure.

Par la suite, le modèle a été généralisé pour fonctionner directement avec des nuages et des vents issus du modèle et pour déterminer des prévisions sur une vaste zone. Des températures d'écran servant de valeur de départ sont analysées selon un réseau maillé présentant une résolution de 20 km environ et couvrant les pays scandinaves. Les températures initiales de la surface s'obtiennent par une extrapolation au sol. Une formule de relaxation permet alors de ramener les températures de la surface prévues au niveau de l'écran.

Par exemple, les propres essais du SMHI ont donné une erreur absolue de 1,25 °C environ (manuscrite). Nos propres essais pour l'hiver 1988/1989 ont fourni les mêmes résultats mais, avec des variations relativement rapides de températures proches de 0 °C, les erreurs ont été supérieures et aplanissent les différences entre diverses stations extérieures. Toutefois, le modèle de prévision du SMHI progresse au fil des ans et tient désormais compte des effets locaux tels que les bassins d'air frais.

L'avantage de ce modèle réside dans un ajustement rapide en temps réel par l'ajout de paramètres météorologiques toutes les demi-heures.

### 5.5.3. VVIS, prévision automatique de la température de la surface

Une première version du modèle a été conçue par BERGAB. Ce modèle prévoit une température de la surface pour quatre heures à intervalles de 30 et 60 minutes. Les calculs reposent sur des valeurs normalisées provenant de données d'archives. L'évolution estimée pour la température de la surface est liée aux tendances de température réelles relevées aux stations extérieures pour une très courte période de temps, puis comparée à l'évolution normale de la température pour la période de référence et les quatre heures suivantes.

Un problème réside dans les principaux changements de temps survenant au cours de la période de prévision. Dans une version ultérieure, le modèle a été notamment corrigé pour les passages de fronts chauds.

Dans la prochaine version du modèle, des constantes individuelles seront utilisées pour chaque station, ce qui permettra de tenir compte des effets locaux tels que les zones ombragées, les bassins d'air frais, les constructions de routes spéciales, etc.

Le modèle n'a pas encore fait l'objet d'essais à proprement parler, mais les responsables de l'entretien des routes mentionnent déjà d'excellents résultats.

Les principaux avantages de ce modèle résident dans son faible coût et son exploitation entièrement automatique par ordinateur.

### Références

Alexandersson, H. et al., 1990, "An Energy Balance Model for Prediction of Surface Temperatures" ("Un modèle de bilan énergétique pour prévoir les températures de la surface"), Met. Mag. 116.

Rayer, P.J., 1987, "The Meteorological Office Forecast Road Surface Temperature Model" ("Le modèle de prévision de la température à la surface de la route de l'Office météorologique"), Met. Mag. 116.

Thornes, J., 1989, "A Preliminary Performance and Benefit Analysis of the UK National Road Ice Prediction System" ("Une analyse préliminaire des performances et des avantages du système national britannique de prévision de verglas sur les routes"), Met. Mag. 118.

Stencils.

## 5.6. Atlas météorologique (Winter index)

### 5.6.1. Contexte

L'idée de dresser un atlas météorologique et de calculer un "indice hivernal" (Winter index, WI) pour l'entretien hivernal correspondant aux degrés-jours du commerce pétrolier a été proposée en 1986 au sein du "Comité sur l'entretien hivernal du réseau des routes de grande communication" en vue de disposer d'un atlas météorologique permanent sur l'économie de l'entretien hivernal.

Au cours de l'hiver 1987/1988, les conditions climatiques et les activités hivernales ont été enregistrées dans les 7 comtés disposant à l'époque de systèmes d'avertissement de glace. Pendant les hivers 1988/1989 et 1989/1990, les enregistrements se sont respectivement poursuivis dans 10 et 11 comtés. Les activités d'entretien hivernal, les chutes de neige et les congères ont été enregistrées dans les districts salés des divers comtés alors que les données provenant des stations d'avertissement de glace sont directement collectées par l'Institut météorologique danois (DMI).

Dans ces conditions, la direction des routes et le DMI ont calculé un indice hivernal et un niveau d'activité pour les 3 hivers précédents.

### 5.6.2. Description

La formule ci-dessous sert à calculer l'indice hivernal :

$$WI = \frac{\text{somme } W(\text{jour})}{15 \text{ avril} - 15 \text{ octobre}}$$

où  $W(\text{jour}) = a \times (b + c + d + e) + a$

- a = 1 si la température de la route est inférieure à +0,5 °C à un moment quelconque d'une période de 24 heures; sinon, a = 0.
- b = le nombre de fois où la température de la route tombe sous 0 °C lorsque, au même moment, la température de la route est inférieure au point de rosée de l'air, et ce pour une période de 3 heures au moins avec un intervalle de 12 heures minimum. Cela signifie que la valeur maximale de b est égale à 2.
- c = le nombre de fois où la température de la route tombe sous 0 °C (entre au moins +0,5 °C et -0,5 °C) pendant une période de 24 heures.
- d = 1, si une chute de neige de 1 cm au moins est signalée pendant une période de 24 heures; sinon, d = 0.
- e = 1, en présence d'une congère exceptionnelle; sinon, e = 0.

Avant d'introduire les quantités a, b et c dans la formule de W(jour), leurs moyennes sont calculées sur le nombre total de stations du comté qui observent la météorologie routière. Enfin, WI est le résultat d'un total réalisé pour chaque comté sur l'ensemble de l'hiver, soit entre le 15 octobre et le 15 avril.

Le niveau d'activité (Act.) se calcule selon la formule suivante :

$$Act. = N1 + N2,$$

où

- N1 =  $\frac{\text{Nombre d'épandages de sel}}{\text{Nombre d'itinéraires d'épandage}}$
- N2 =  $\frac{\text{Nombre d'itinéraires d'épandage dégagés}}{\text{Nombre d'itinéraires enneigés}}$

### 5.6.3. Résultats

Les résultats des 3 derniers hivers figurent dans les annexes 1 à 16.

L'annexe 1 reprend les valeurs mensuelles cumulées pour l'indice hivernal et le niveau d'activité dans les divers comtés au cours de l'hiver 1987/1988.

L'annexe 2 reprend les valeurs annuelles cumulées.

L'annexe 3 reprend le rapport entre le niveau d'activité et l'indice hivernal pour les divers comtés au cours de l'hiver 1987/1988.

Les annexes 4-9 correspondent aux annexes 1-3 mais pour les hivers 1988/1989 et 1989/1990.

L'annexe 10 présente un exemple de détermination d'un indice hivernal et d'un niveau d'activité pour chaque jour de décembre 1988 dans le comté de Frederiksborg.

L'annexe 11 est un exemple de nuage de points du rapport entre un indice hivernal et un niveau d'activité. Toutes les données du comté de Nordjylland ont été tracées pour l'hiver 1988/1989.

Les annexes 12-14 illustrent l'indice hivernal et la consommation de sel pour les hivers 1987/1988, 1988/1989 et 1989/1990. Elles indiquent l'absence de rapport logique immédiat entre l'indice et la consommation de sel, ce qui ne provient pas uniquement de différences dans les politiques d'épandage de sel des comtés, car certaines différences se retrouvent d'année en année dans les divers comtés.

L'annexe 15 reprend le rapport entre l'indice hivernal et la consommation de sel de l'ensemble du pays pour les hivers 1987/1988, 1988/1989 et 1989/1990. Le calcul de l'indice hivernal repose sur l'indice des comtés en fonction de du district routier. Compte tenu des résultats des 3 derniers hivers, le rapport entre l'indice hivernal et la consommation de sel est excellent.

L'annexe 16 reprend le rapport entre l'indice hivernal et les dépenses liées aux conditions climatiques pour les années 1988 et 1989. Les différences entre les comtés sont considérables mais, en examinant les comtés séparément, les rapports sont bons pour 2 des 3 années.

#### 5.6.4. Conclusion

Comme le montrent les graphiques du rapport entre, d'une part, le niveau d'activité et l'indice hivernal et, d'autre part, la consommation de sel et l'indice hivernal, les différences entre les comtés sont considérables. A l'heure actuelle, il est difficile de savoir si la différence est due aux politiques d'épandage de sel des comtés ou si la formule de l'indice hivernal doit être corrigée.

Il convient également de replacer ce qui précède dans le contexte d'hivers 1987/1988, 1988/1989, 1989/1990 très doux qui n'ont entraîné qu'une très faible consommation de sel et quasi aucun déneigement. Il est donc nécessaire d'enregistrer un nombre supérieur d'hivers pour évaluer la valeur pratique de l'indice hivernal proposé (et éventuellement corrigé).

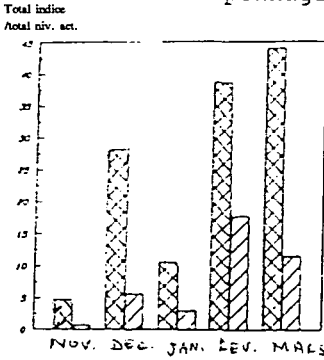


ANNEXE 1

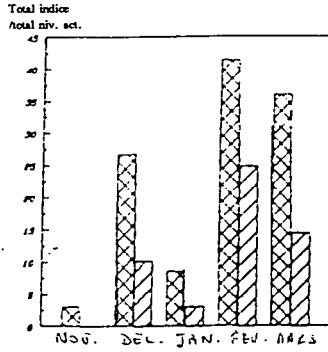
INDICE HIVERNAL / ACTIVITE HIVERNALE

HIVER 1987/1988 (1.11 - 31.3)

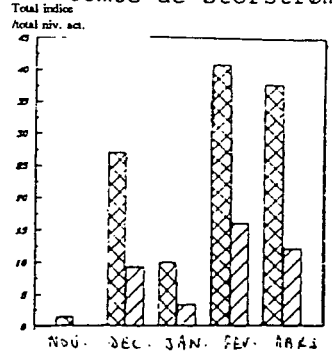
Comté de Copenhague



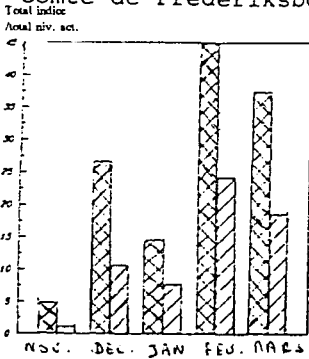
Comté de Roskilde



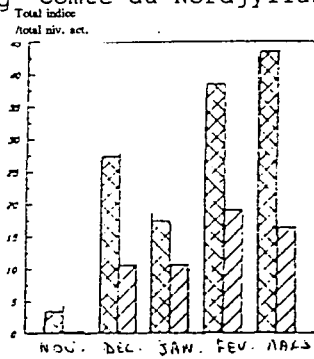
Comté de Storstrøm



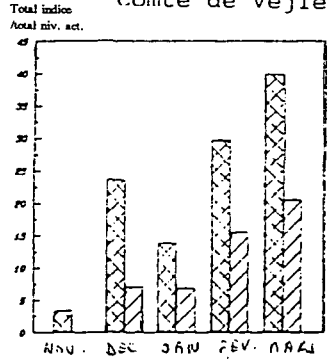
Comté de Frederiksborg



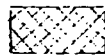
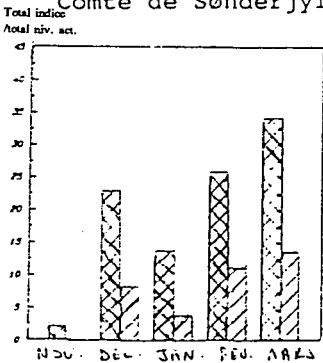
Comté du Nordjylland



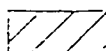
Comté de Vejle



Comté de Sønderjylland



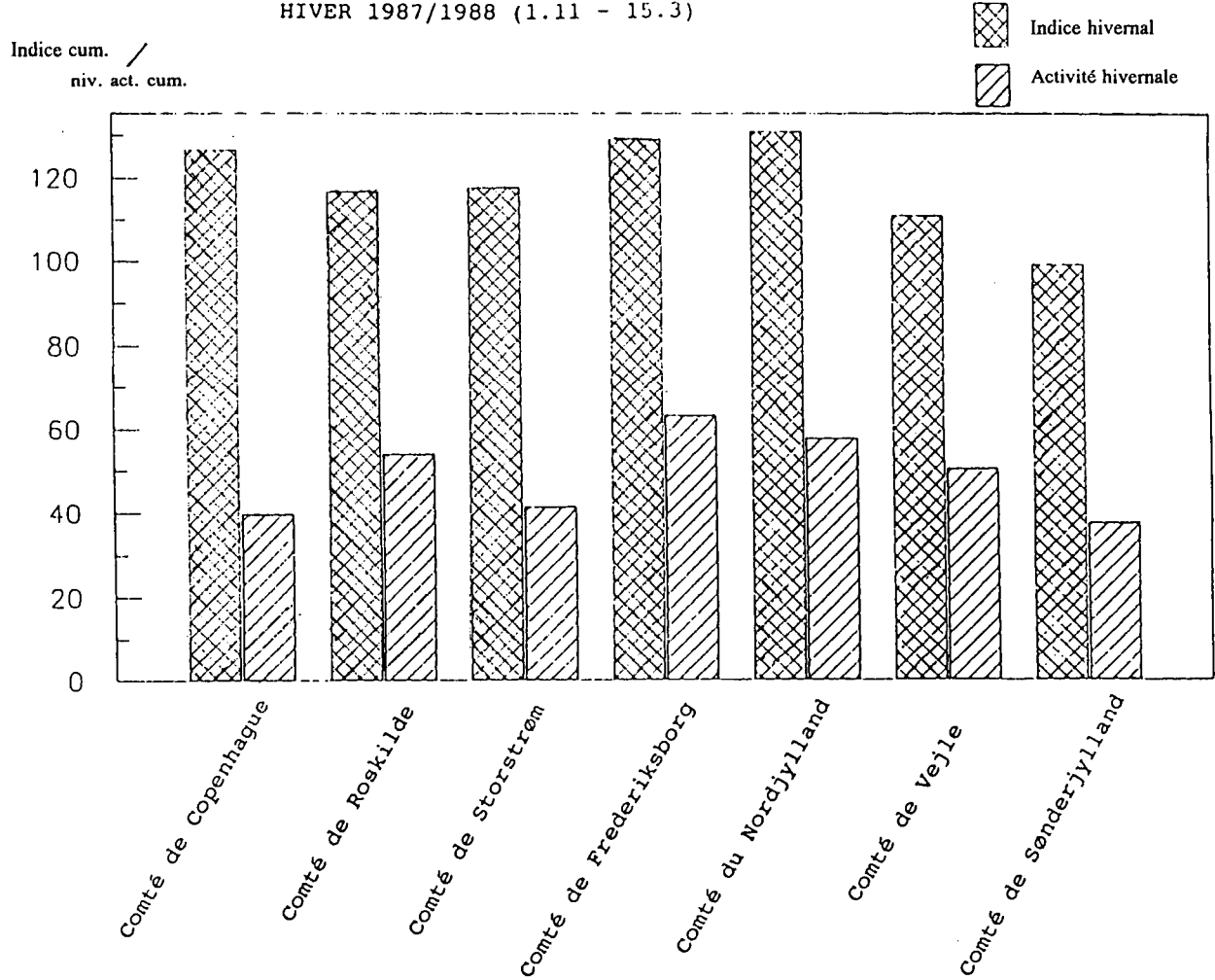
Indice hivernal



Activité hivernale

# INDICE HIVERNAL/ACTIVITE HIVERNALE

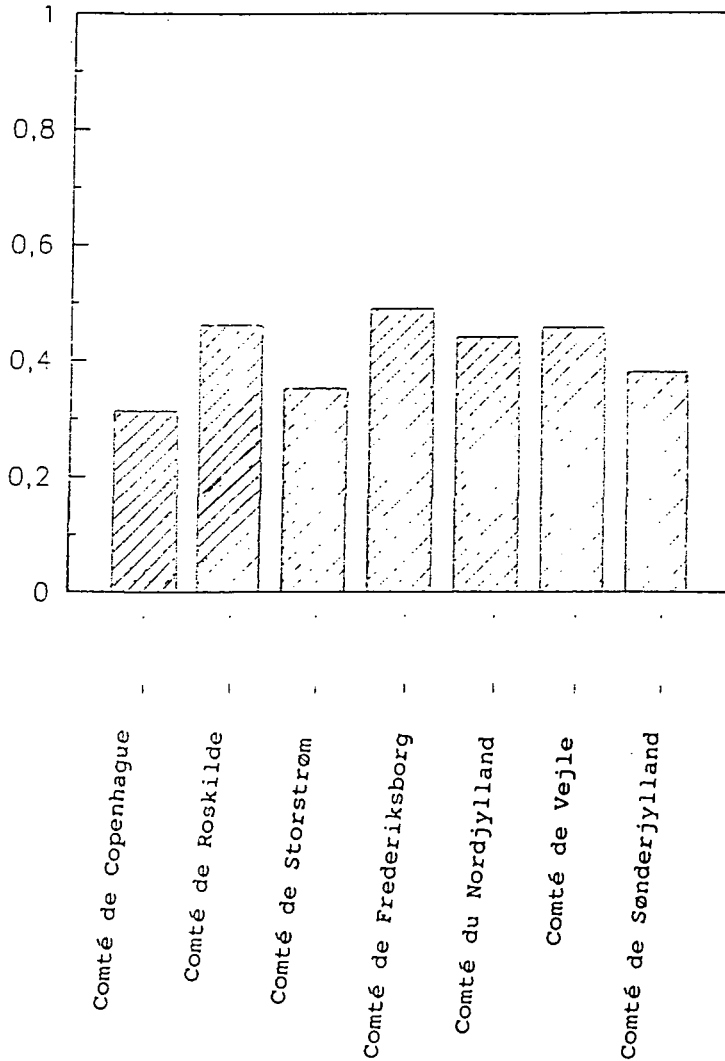
HIVER 1987/1988 (1.11 - 15.3)



# RAPPORT ENTRE L'ACTIVITE HIVERNALE ET L'INDICE HIVERNAL

HIVER 1987/1988 (1.11 - 31.3)

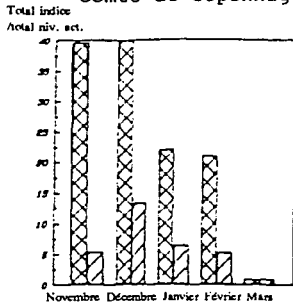
Rapport activité hivernale  
indice hivernal



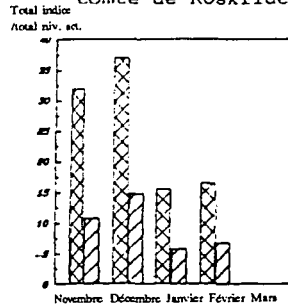
# INDICE HIVERNAL / ACTIVITE HIVERNALE

HIVER 1988/1989 (1.11 - 15.3)

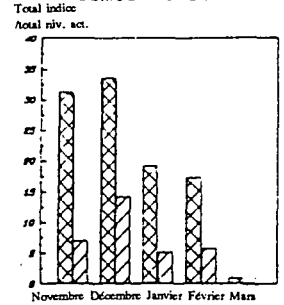
Comté de Copenhague



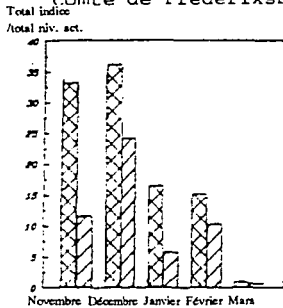
Comté de Roskilde



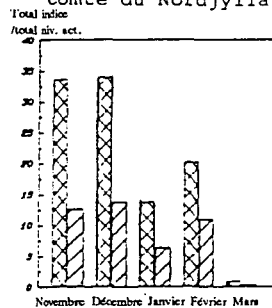
Comté de Storstrom



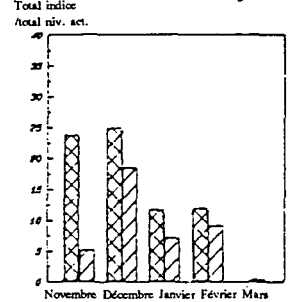
Comté de Frederiksborg



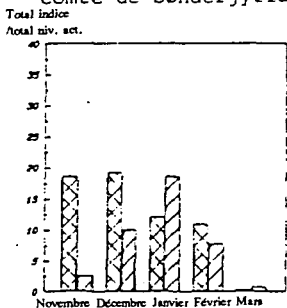
Comté du Nordjylland



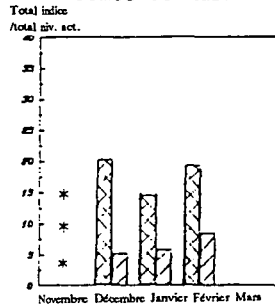
Comté de Vejle



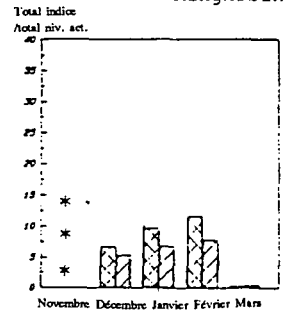
Comté de Sonderjylland



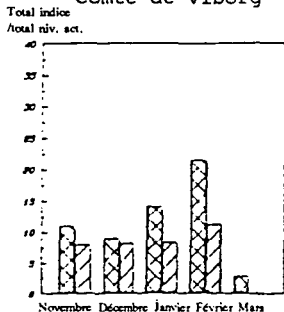
Comté de Aarhus



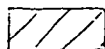
Comté de Ringkobing



Comté de Viborg



Indice météorologique



Activité hivernale

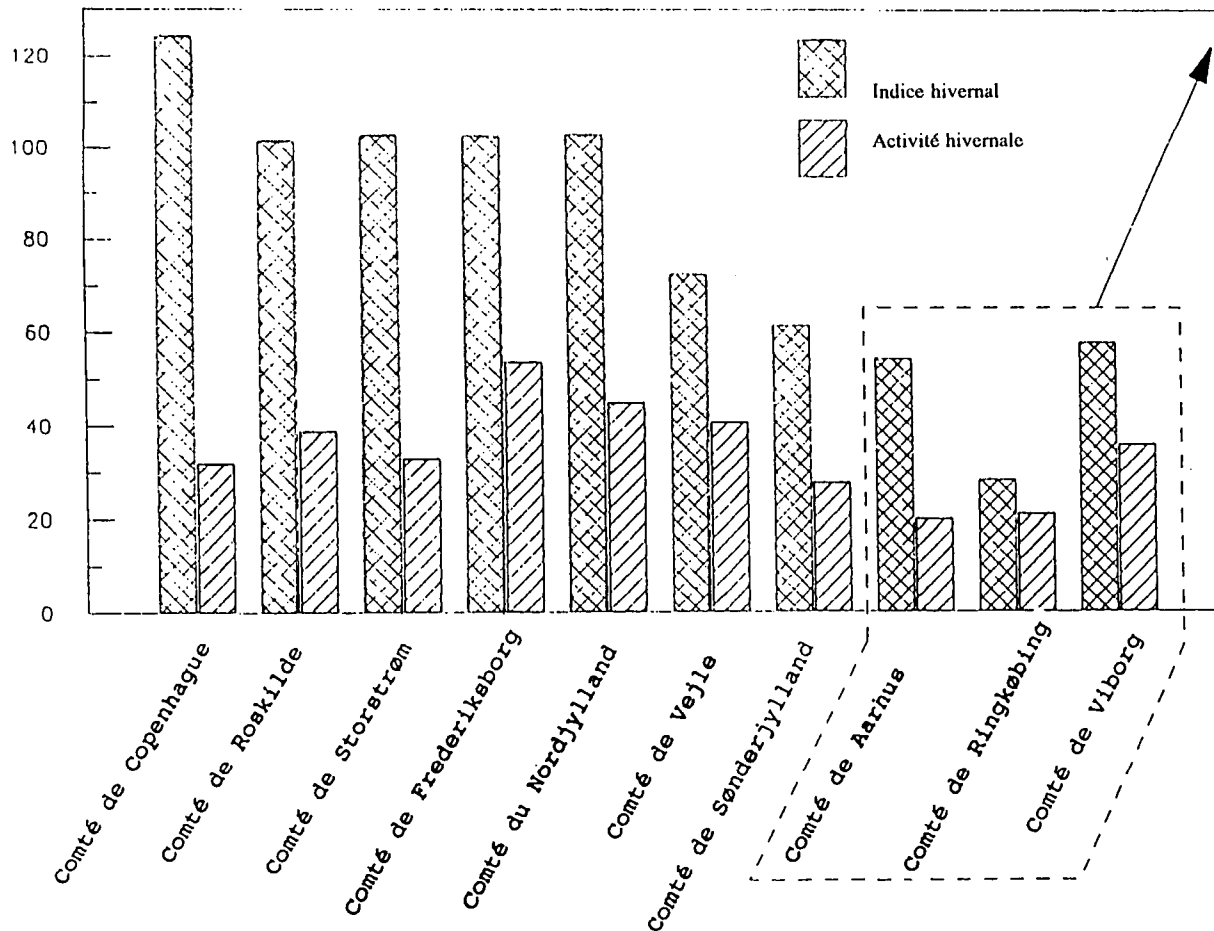


Données inexistantes

# INDICE HIVERNAL / ACTIVITE HIVERNALE

HIVER 1988/1989 (1.11 - 15.3)

Indice cum.  
/niv. act. cum.

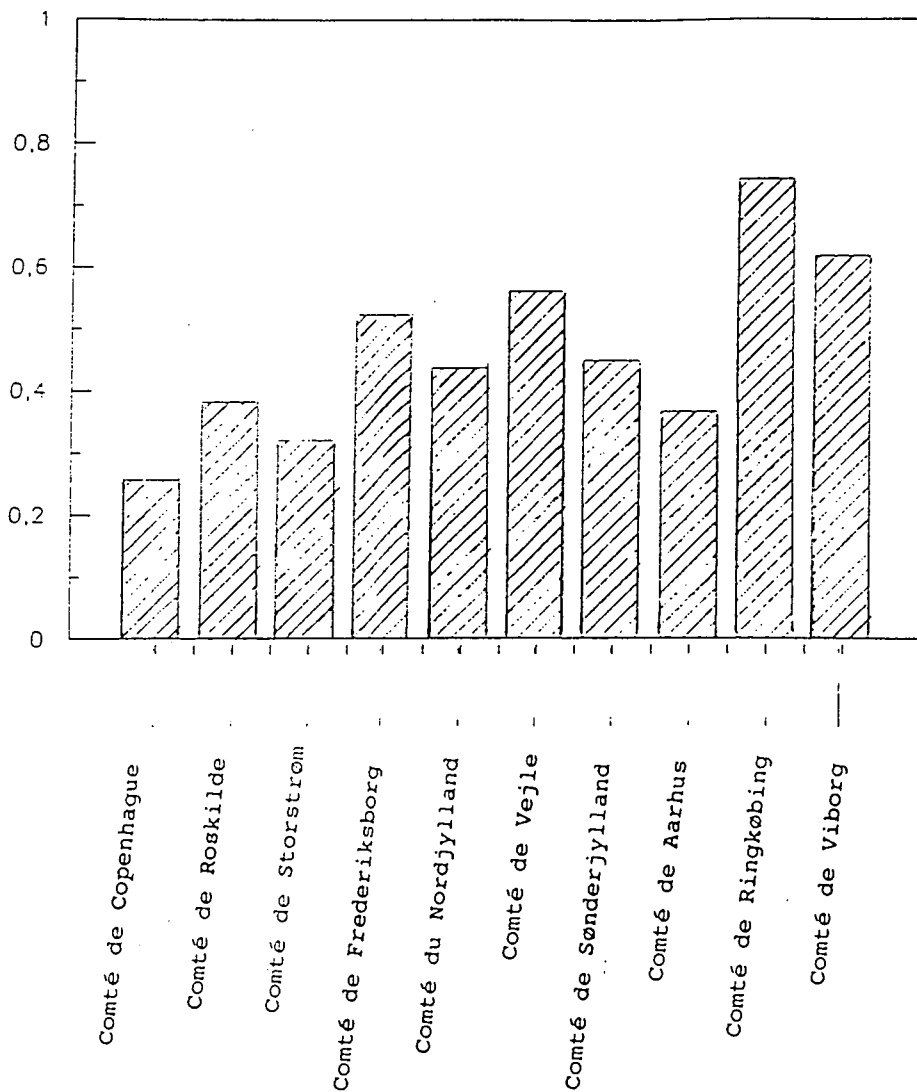


Les données  
sont incomplètes  
pour ces trois  
comtés.

# RAPPORT ENTRE L'ACTIVITE HIVERNALE ET L'INDICE HIVERNAL

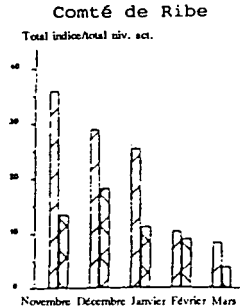
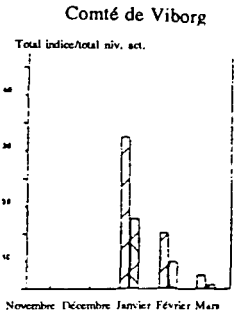
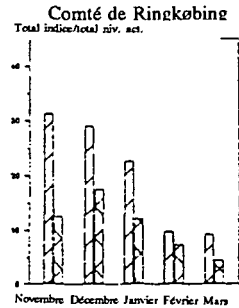
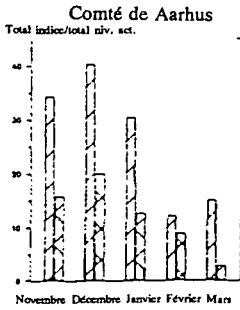
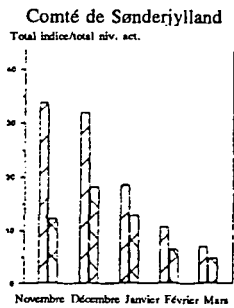
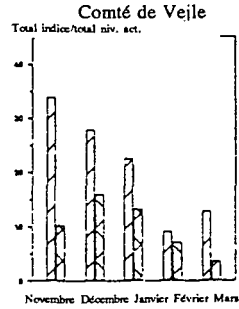
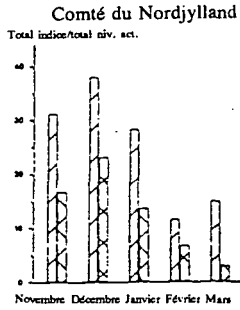
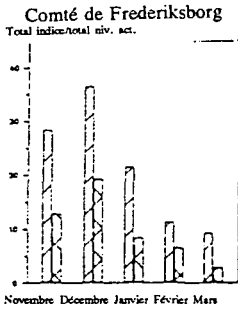
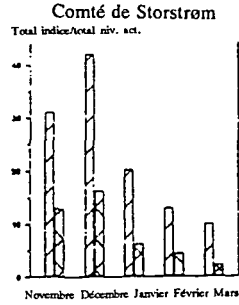
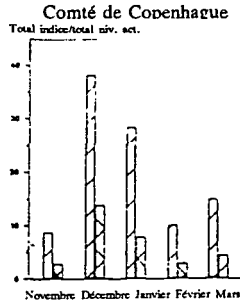
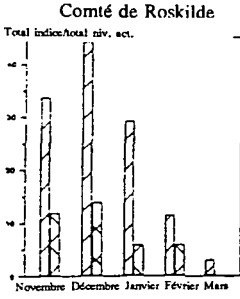
HIVER 1988/1989 (1.11 - 15.3)

Rapport activité hivernale  
indice hivernal



# INDICE HIVERNAL / ACTIVITE HIVERNALE

HIVER 1989/1990 (1.11 - 31.3)

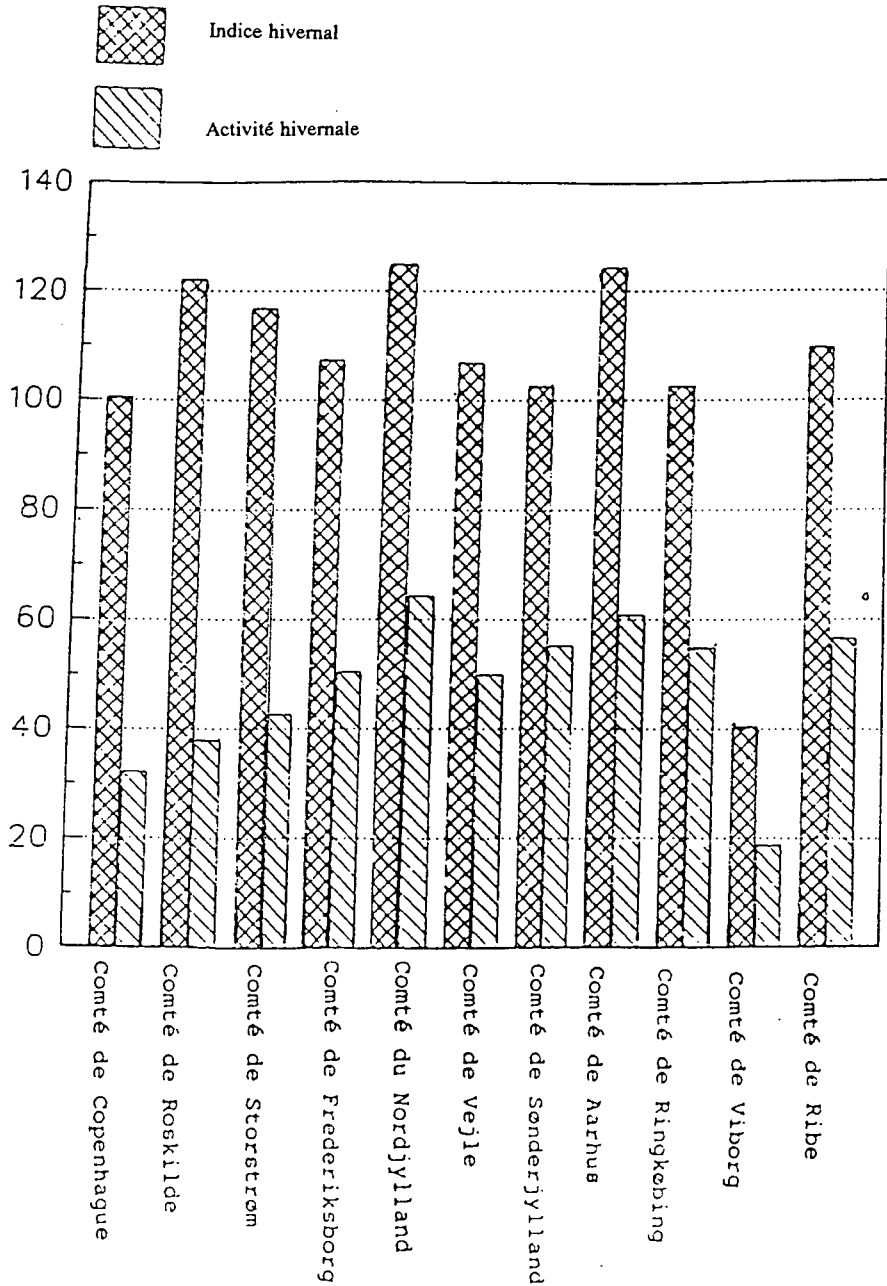


 Indice hivernal

 Activité hivernale

## INDICE HIVERNAL / ACTIVITE HIVERNALE

HIVER 1989/1990 (1.11 - 31.3)



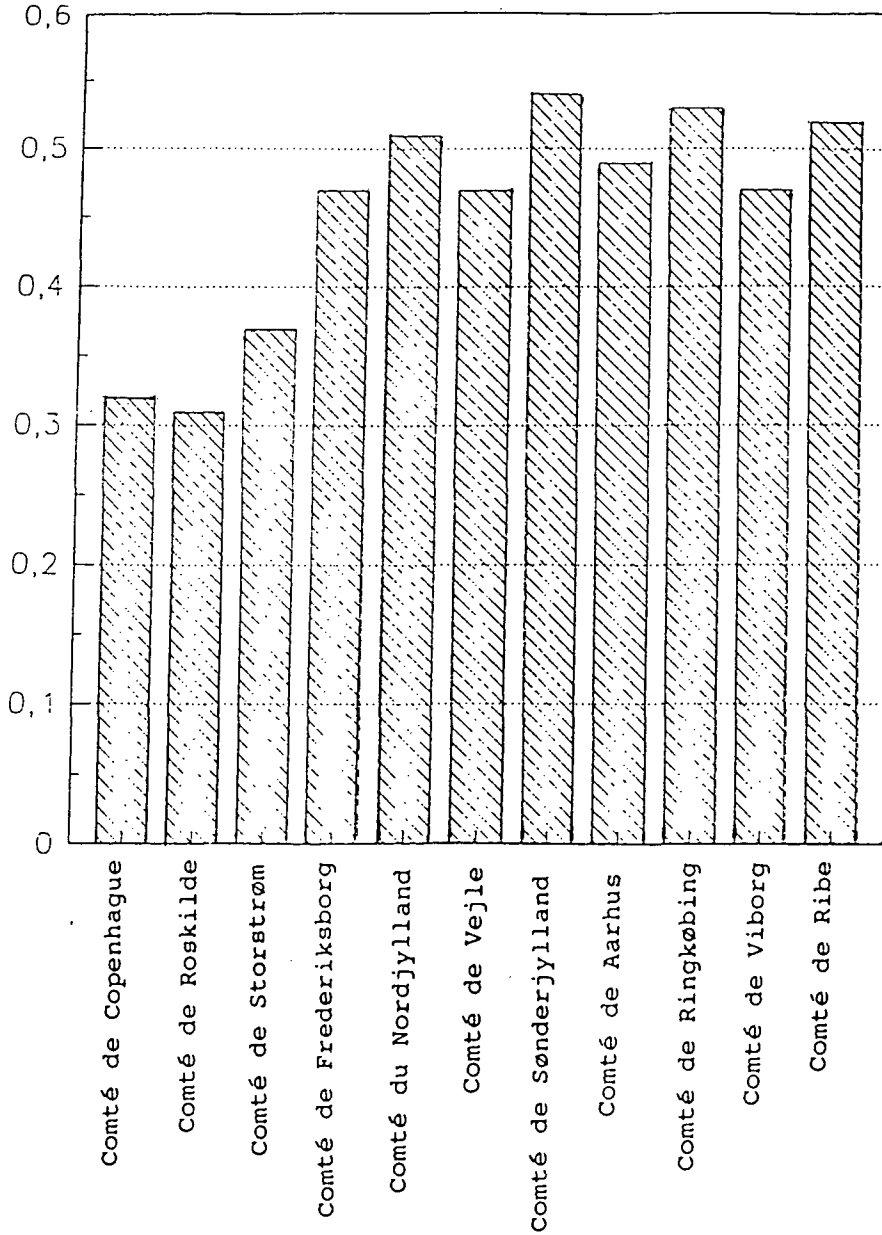


ANNEXE 9

RAPPORT ENTRE L'ACTIVITE HIVERNALE ET L'INDICE HIVERNAL

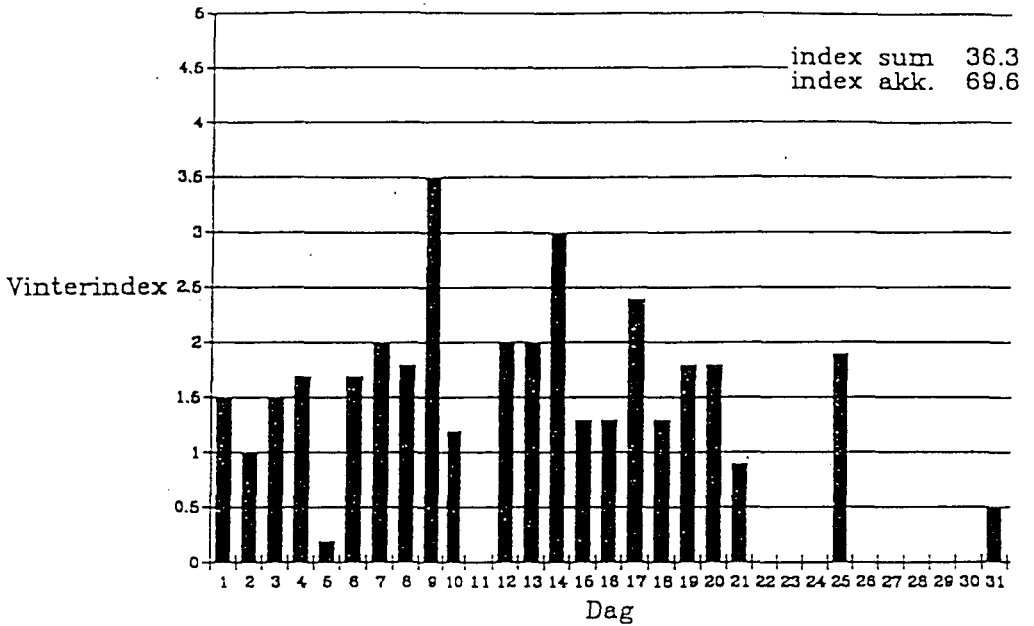
HIVER 1989/1990 (1.11 - 31.3)

Rapport = activité hivernale/indice hivernal

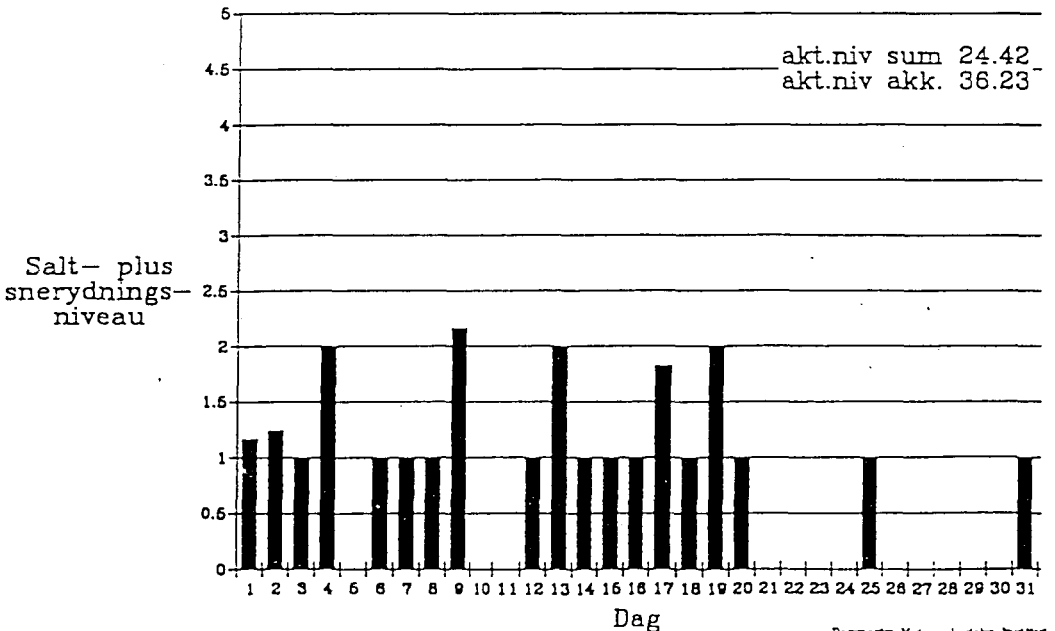


ANNEXE 10

V(dag) for Frederiksborg amt december 1988

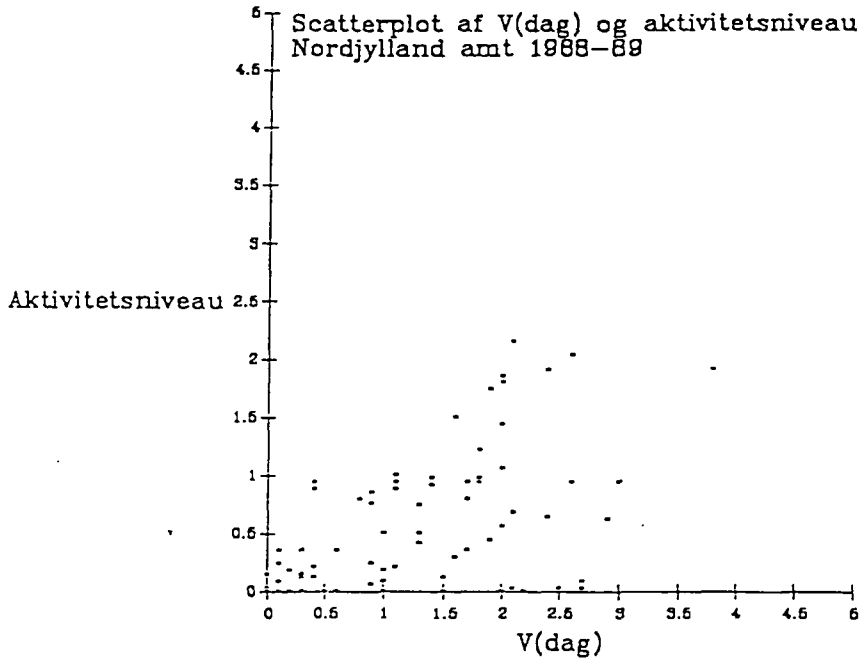


Aktivitetsniveau for Frederiksborg dec 1988



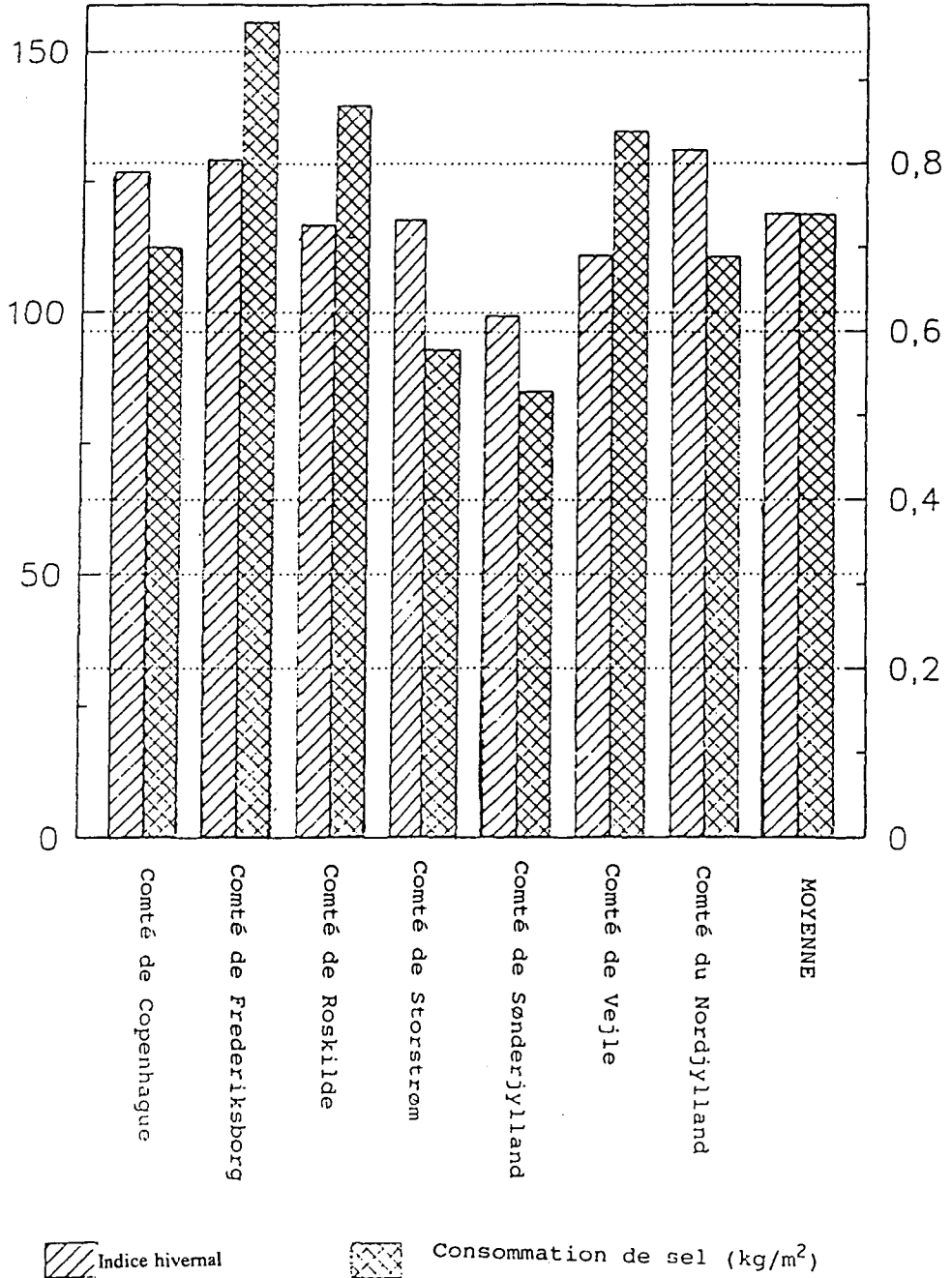
Danmarks Meteorologiske Institut

ANNEXE 11



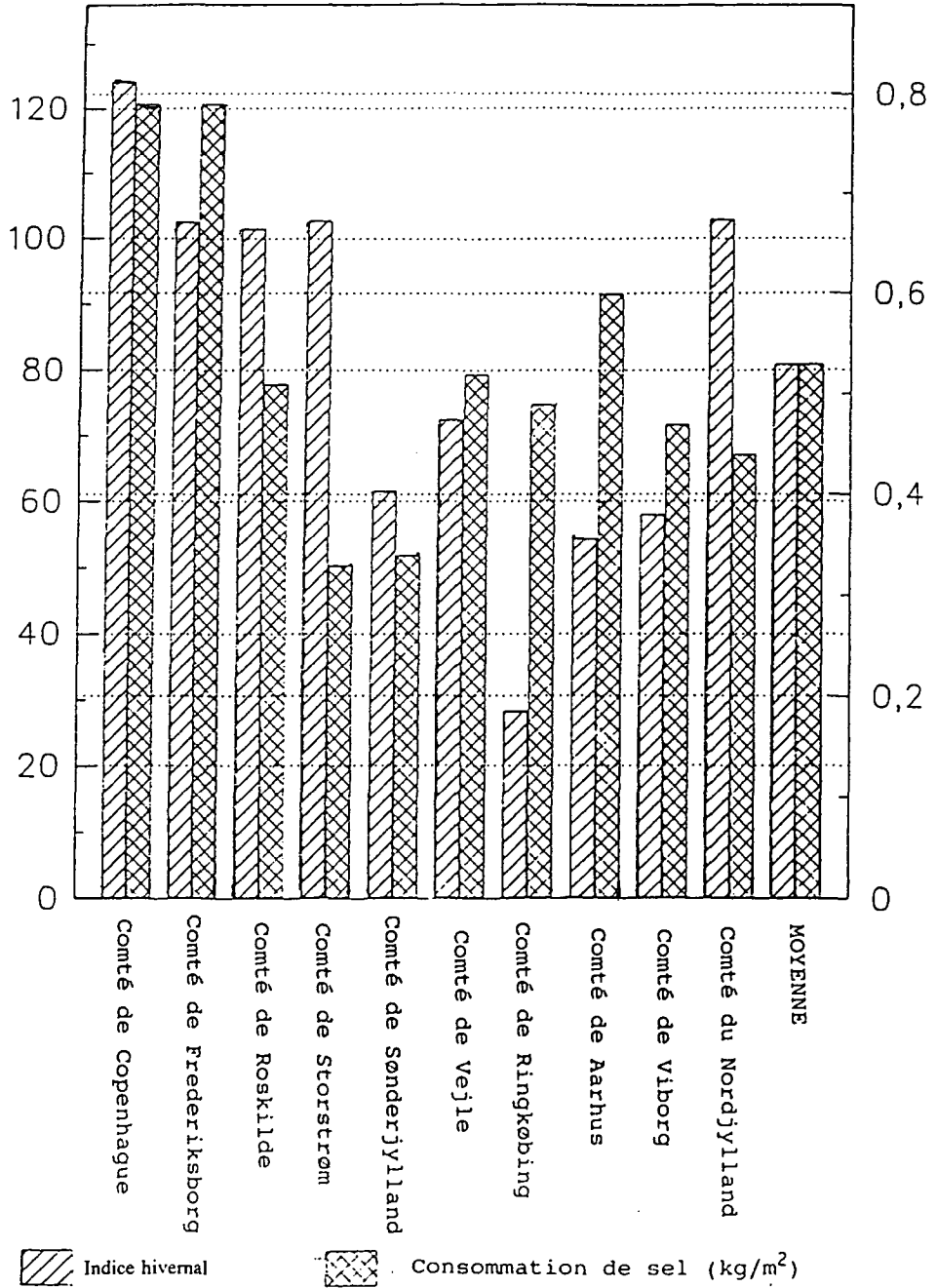
## INDICE HIVERNAL ET CONSOMMATION DE SEL

HIVER 1987/1988



INDICE HIVERNAL ET CONSOMMATION DE SEL

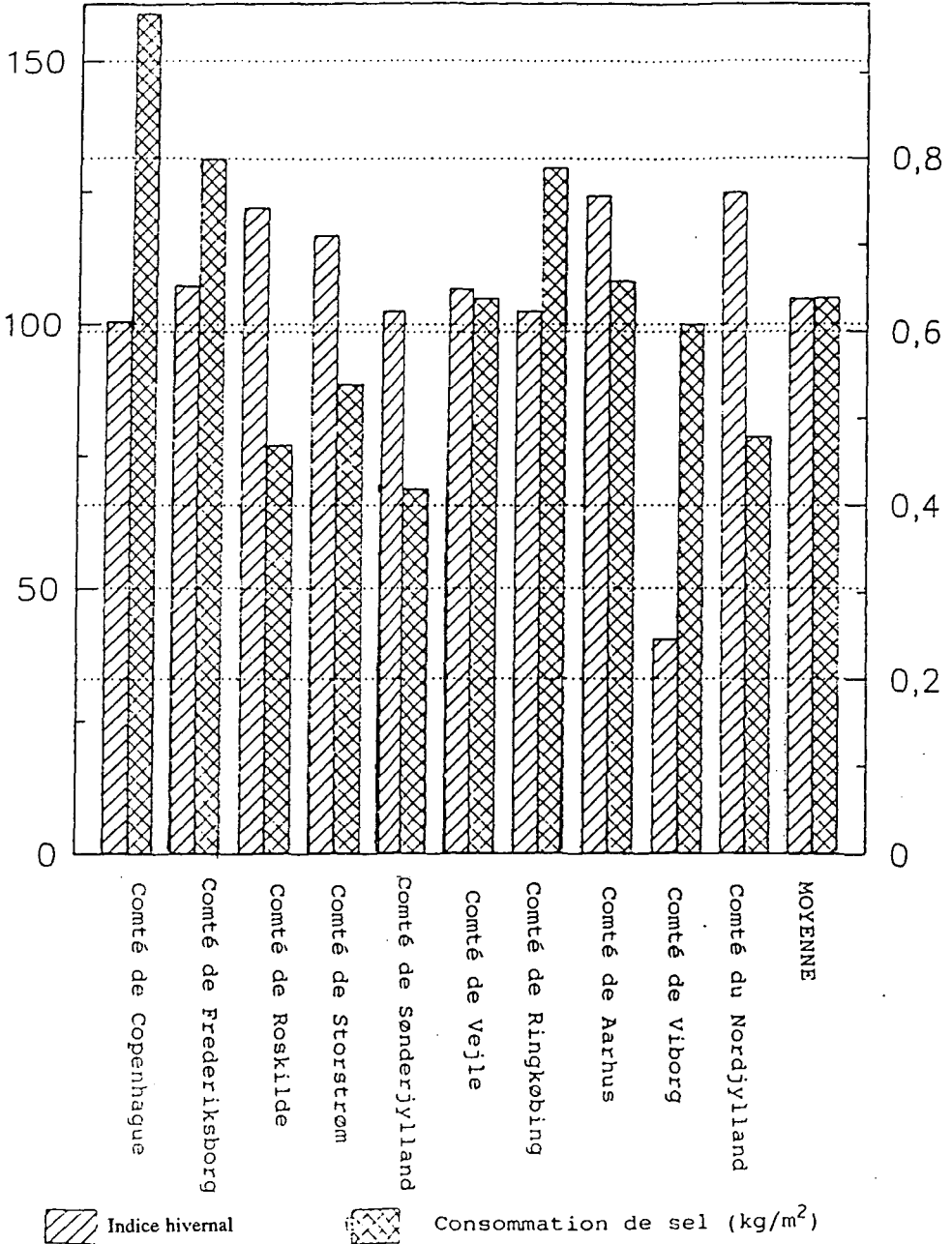
HIVER 1988/1989



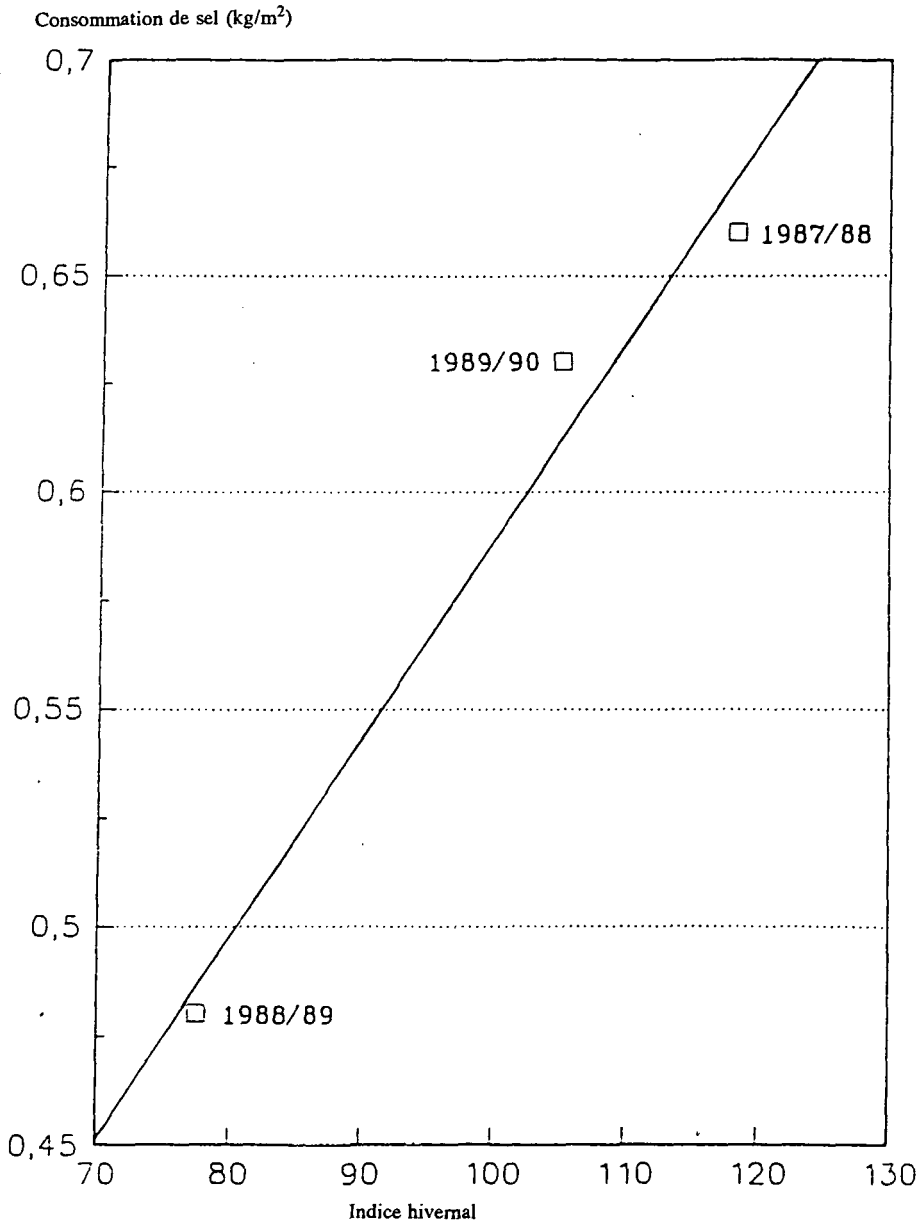
ANNEXE 14

INDICE HIVERNAL ET CONSOMMATION DE SEL

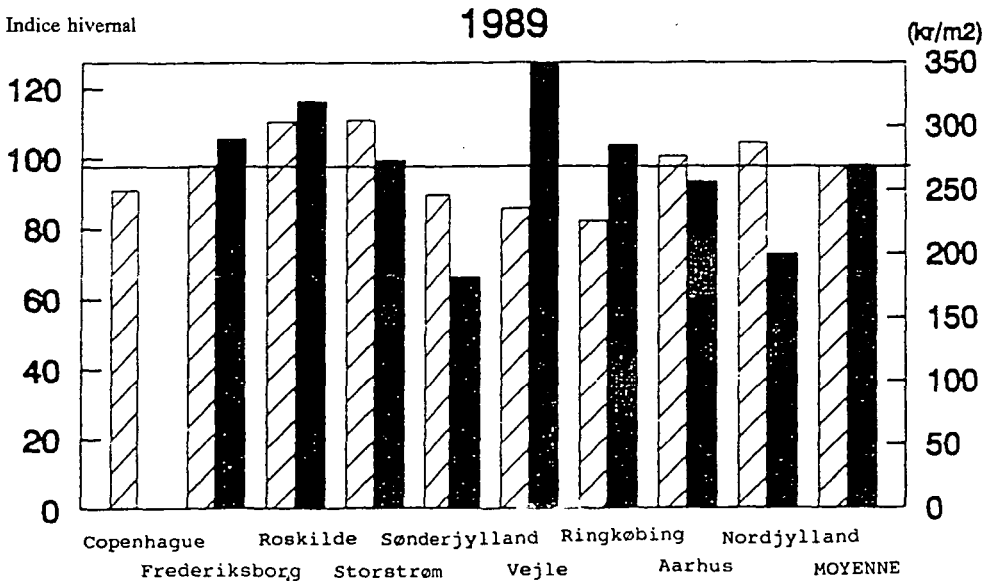
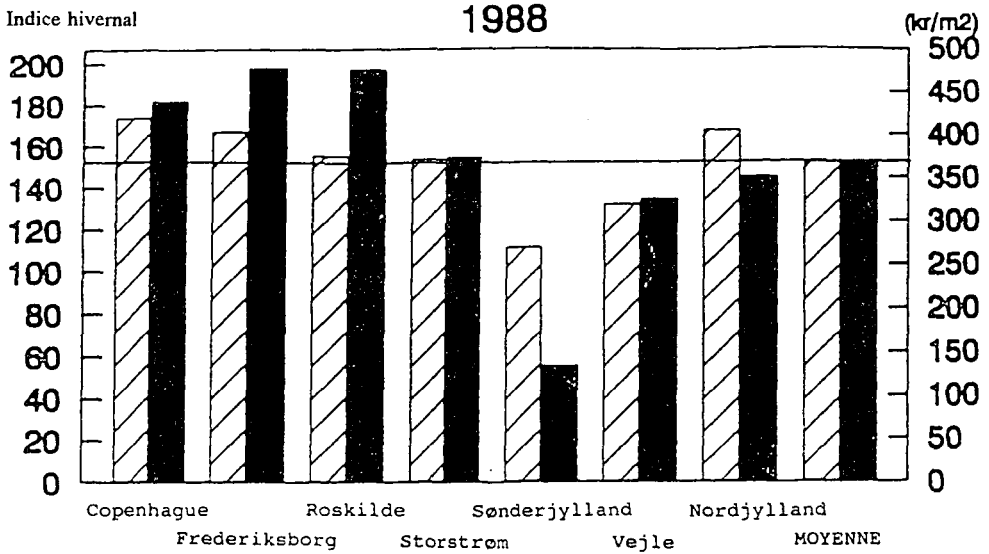
HIVER 1989/1990



INDICE HIVERNAL ET CONSOMMATION DE SEL



Indice hivernal et dépenses liées aux conditions climatiques



Indice hivernal

Dépenses liées aux conditions climatiques



## 5.7. CONDITIONS CLIMATIQUES ET ACCIDENTS

### 5.7.1. Introduction

L'objet de cette partie de l'action consiste à proposer un code de bonne pratique standardisée concernant les rapports entre les accidents de la route, d'une part, et les conditions climatiques et de revêtements routiers d'autre part. Il existe un grand besoin d'une meilleure connaissance du potentiel ainsi que des aspects coûts/bénéfices des différentes activités de maintenance routière. Une méthode pour obtenir cette connaissance consiste à comparer la situation dans les pays qui rencontrent le même type de problème mais qui utilisent des stratégies différentes pour les résoudre. Dans ce type de recherche, il est indispensable de disposer de statistiques comparables en matière d'accidents.

Les pays participants ont été interrogés par la voie d'un questionnaire sur la façon dont sont enregistrées, dans les comptes-rendus d'accidents, les données relatives aux conditions climatiques et sur la manière dont elles sont classées. L'enquête a porté notamment sur les statistiques d'accidents pour l'année 1986 et sur la liste des plus importants comptes-rendus nationaux de recherche relatifs aux conditions climatiques et à la sécurité routière.

Huit pays ont répondu au questionnaire : Autriche, Danemark, Finlande, Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède, Suisse.

Le contenu du présent chapitre est basé sur les données communiquées par ces pays.

### 5.7.2. Données relatives aux conditions climatiques et de revêtement routier figurant dans les comptes-rendus d'accidents.

Tableau 5.7.1. Données concernant les conditions climatiques et de revêtement routier figurant dans les comptes-rendus d'accidents.

Pays	Luminosité	Temps	Visibilité	Conditions routières	Température
Pays-Bas	x	x	-	x	-
Royaume-Uni	x	x	-	x	-
Autriche	x	x	-	x	-
Suisse	x	x	-	x	-
Danemark	x	x	x	x	-
Finlande	x	x	x	x	x
Norvège	x	x	x	x	x
Suède	x	x	-	x	-

Le tableau 5.7.1. montre les données qui figurent dans les comptes-rendus d'accidents dans les différents pays. La luminosité, le temps et les conditions routières sont généralement reprises dans tous les pays alors que la visibilité et la température ne sont utilisées respectivement que dans 3 ou 2 pays.

### 5.7.3. RESUME DES STATISTIQUES D'ACCIDENTS

Tableau 5.7.2. : Total des accidents de la circulation ayant entraîné des dommages corporels (1986). Variables relatives aux conditions climatiques.

Pays	Luminosité	Cond. rout.		Cond. climat.
	% dans l'obscurité	% de routes humides	% de cond. hiver.	% de temps sec
Pays-Bas	28%	26%	4%	81%
Grande-Bretagne	30%*	34%	4%	82%
Finlande	25%	21%	26%	84%
Norvège	26%	22%	23%	80%
Suède	26%	24%	18%	-
Danemark	29%	26%	8%	83%
Autriche	29%	17%	9%	86%
Suisse**	29%	23%	12%	80%

\* Le crépuscule représente une catégorie dans tous les pays à l'exception de la Grande-Bretagne.

\*\* Accidents avec et sans dommages corporels.

Les tableaux 5.7.2. et 5.7.3. résument les statistiques des accidents; il s'agit des variables comparables en matière de conditions climatiques et de conditions de circulation routière.

Tableau 5.7.3. : accidents de la circulation, accidents mortels (1986).

Pays	Luminosité	Cond. rout.		Cond. climat.
	% dans l'obscurité	% de routes humides	% de cond. hiver.	% de temps sec
Pays-Bas	39%	21%	1%	84%
Grande-Bretagne	44%*	37%	3%	83%
Finlande	31%	19%	29%	86%
Norvège	31%	23%	19%	80%
Suède	31%	25%	17%	-
Danemark**	-	-	-	-
Autriche	46%	18%	9%	85%
Suisse***	40%	-	-	-

\* Le crépuscule représente une catégorie dans tous les pays à l'exception de la Grande-Bretagne.

\*\* Statistiques des accidents mortels absentes de la publication officielle, mais disponibles sur demande spéciale.

\*\*\* 1987

Vu le nombre total d'accidents ayant entraîné des dommages corporels (tableau 5.7.2.), il semble que le problème de l'obscurité soit quasi aussi important dans tous les pays. Toutefois, les différences sont considérables pour les accidents mortels (tableau 5.7.3.) : par rapport aux autres pays, les pays nordiques connaissent moins d'accidents mortels dans l'obscurité.

Pour les conditions de circulation routière, il n'est pas étonnant de constater des différences considérables entre les pays. Cela s'applique surtout à la proportion d'accidents survenant sur routes enneigées ou verglacées (conditions hivernales). Le "problème de l'hiver" est le plus crucial dans les pays scandinaves (Finlande, Norvège et Suède, 20 à 25 % des accidents avec dommages corporels sur la glace/neige) et le moins important en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas (seulement 4 % d'accidents avec dommages corporels sur la glace/neige). Le Danemark, l'Autriche et la Suisse se situent entre ces deux extrêmes (environ 10 % sur la glace/neige).

En matière de conditions climatiques, les pays présentent aussi des différences pour la proportion d'accidents par temps de neige ou de pluie. Toutefois, compte tenu du nombre d'accidents par temps sec, il est quasi identique dans tous les pays.

#### 5.7.4. PROPOSITIONS D'UN CODE DE BONNE PRATIQUE COMMUN SUR BASE DES VARIABLES "CONDITIONS CLIMATIQUES" ET "SURFACE DE LA ROUTE"

En hiver, les conditions climatiques diffèrent grandement d'un pays européen à l'autre, ce que reflètent aussi les statistiques d'accidents relatives aux conditions climatiques et à l'état de la surface de la route. Dans les pays scandinaves, il peut être nécessaire d'établir plusieurs catégories pour une route verglacée ou enneigée. Cela ne se justifie pas par exemple aux Pays-Bas.

Il est aussi souhaitable de minimiser les modifications du code de bonne pratique actuel. Sinon, il sera difficile de comparer les nouvelles statistiques d'accidents aux statistiques des années précédentes.

Il est dès lors recommandé de ne modifier la pratique d'enregistrement des accidents de la circulation que dans la mesure où il sera possible de comparer les statistiques d'accidents de divers pays.

De plus, il est proposé d'enregistrer toutes les variables mentionnées dans le tableau 3.2.1. dans tous les pays, à savoir :

- \* luminosité,
- \* conditions climatiques,
- \* conditions de visibilité,
- \* conditions de circulation routière,
- \* température.

**A. Classification de la luminosité**

La classification actuelle se présente comme suit :

**Pays-Bas**

Lumière du jour

Crépuscule

Obscurité

(La présence d'un éclairage routier est enregistrée comme variable séparée)

**Finlande**

Lumière du jour

Crépuscule

Obscurité, routes non éclairées

Obscurité, routes éclairées

**Norvège**

Lumière du jour

Crépuscule

Obscurité, routes non éclairées

Obscurité, routes éclairées

**Suède**

Lumière du jour

Crépuscule

Obscurité

(La présence d'un éclairage routier est enregistrée comme variable séparée)

**Danemark**

Lumière du jour

Crépuscule

Obscurité

(La présence d'un éclairage routier est enregistrée comme variable séparée)

**Autriche**

Soleil aveuglant

Lumière du jour

Crépuscule

Obscurité

Routes éclairées

**Grande-Bretagne**

**Lumière du jour**

Réverbères à une hauteur de 7 mètres ou plus

Réverbères à une hauteur inférieure à 7 mètres

Aucun éclairage de la voie publique

Lumière du jour, éclairage de la voie publique inconnu

**Obscurité**

Réverbères à une hauteur de 7 mètres ou plus

Réverbères à une hauteur inférieure à 7 mètres

Aucun éclairage de la voie publique

Eclairage de la voie publique éteint

Lumière du jour, éclairage de la voie publique inconnu

**Suisse**

Lumière du jour

Crépuscule

Obscurité

1. Lumière du jour
2. Crépuscule
3. Obscurité, sans éclairage de la voie publique (éteint ou inexistant)
4. Obscurité avec éclairage de la voie publique

Cette proposition n'implique que des modifications mineures de la classification actuelle : la catégorie "crépuscule" doit être appliquée en Grande-Bretagne.

## B. Classification des conditions climatiques

La classification actuelle se présente comme suit :

### Pays-Bas

Temps sec  
 Pluie  
 Brouillard  
 Neige/grêle  
 Rafales  
 Pluie et rafales  
 Neige/grêle et vent  
 Autres

### Finlande

Temps clair  
 Temps nuageux  
 Brouillard  
 Pluie  
 Neige  
 Neige fondue  
 Brouillard, pluie  
 Brouillard, chute de  
 neige humide

### Norvège

Bonne visibilité,  
 absence de pluie ou de  
 neige  
 Bonne visibilité, pluie  
 ou neige  
 Mauvaise visibilité,  
 pluie ou neige  
 Mauvaise visibilité,  
 brouillard  
 Mauvaise visibilité,  
 pour d'autres raisons

### Suède

Temps sec  
 Brouillard/brume  
 Pluie  
 Neige fondue  
 Neige

### Grande-Bretagne

Beau temps (sans grands  
 vents)  
 Pluie (sans grands  
 vents)  
 Neige (sans grands  
 vents)  
 Beau temps avec grands  
 vents  
 Pluie avec grands vents  
 Neige avec grands vents  
 Brouillard (ou brume si  
 danger)  
 Autres

### Suisse

Beau temps  
 Couvert  
 Pluie  
 Grêle  
 Chute de neige  
 Brouillard  
 Grand vent  
 Soleil aveuglant  
 Autres

### Danemark

Temps sec  
 Pluie  
 Brouillard  
 Neige/neige fondue/grêle

### Autriche

Conditions climatiques  
 Beau temps  
 Temps nuageux  
 Brouillard  
 Grand vent

Précipitations  
 Pluie  
 Grêle  
 Pluie givrante  
 Neige

La classification actuelle mélange en partie les précipitations atmosphériques, le vent et la visibilité. Nous proposons d'enregistrer les deux dernières variables séparément. Il est recommandé d'enregistrer la visibilité dans tous les pays. Le vent ne devrait être enregistré que dans les pays où il constitue une cause majeure d'accident de la circulation.

Nous recommandons une éventuelle conversion des classifications nationales des précipitations dans les catégories suivantes :

1. Temps sec, clair
2. Temps sec, nuageux
3. Brouillard
4. Pluie
5. Neige fondue
6. Neige ou grêle

C. Classification de la visibilité

La classification actuelle se présente comme suit :

Pays-Bas

Aucun enregistrement

Finlande

Plus de 500 m

200 - 500 m

Moins de 200 m

Norvège

Enregistrement lié aux conditions climatiques

Suède

Aucun enregistrement

Grande-Bretagne

Aucun enregistrement

Suisse

Aucun enregistrement

Danemark

Bonne visibilité

Mauvaise visibilité

Autriche

Aucun enregistrement

La visibilité n'est enregistrée que dans 3 des 8 pays. Son enregistrement est recommandé dans tous les pays, car il s'agit d'une variable très importante pour les accidents de la circulation.

Nous recommandons la classification suivante :

1. Bonne visibilité (supérieure à 500 mètres)
2. Visibilité réduite (entre 200 et 500 mètres)
3. Mauvaise visibilité (inférieure à 200 mètres)

Les valeurs limites recommandées proviennent de la classification finlandaise.

D. Classification des conditions de circulation routière

La classification actuelle se présente comme suit :

Pays-Bas

Route sèche  
Route humide/mouillée  
Neige/pluie surrefroidie  
Route boueuse  
Autres

Finlande

Route dégagée, sèche  
Route humide/mouillée  
Eau sur les bandes de circulation  
Route enneigée  
Route couverte de neige fondue  
Route verglacée  
Route enneigée, bandes de circulation dégagées  
Route couverte de neige fondue, bandes de circulation dégagées  
Route verglacée, bandes de circulation dégagées  
  
Route couverte de neige fondue, eau sur les bandes de circulation  
Route verglacée, eau sur les bandes de circulation

Norvège

Route sèche  
Route mouillée  
Route enneigée ou verglacée  
Route partiellement enneigée ou verglacée  
Route glissante pour d'autres raisons

Suède

Route sèche  
Route humide/mouillée  
Verglas épais/neige durcie  
Fin verglas  
Neige molle

Grande-Bretagne

Route sèche  
Route mouillée/humide  
Neige  
Gel/verglas  
Inondations (eau de surface présentant une profondeur supérieure à 3 cm)

Suisse

Route sèche  
Route mouillée  
Route enneigée  
Route verglacée  
Route couverte de neige fondue  
Route couverte d'huile  
Boue sur la route  
Nids de poule  
Autres

Danemark

Route sèche  
Route mouillée  
Route glissante

Autriche

Route sèche  
Route mouillée  
Sable sur la route  
Neige fondue  
Verglas/neige avec sable ou sel  
Verglas/neige sans sable ou sel  
Autres (p. ex. huile, terre)

Nous recommandons une éventuelle conversion des classifications nationales de l'état de la surface de la route dans les catégories suivantes :

1. Route sèche
2. Route humide/mouillée
3. Route enneigée ou verglacée
4. Autres sur la route (boue, huile)

En outre, l'enregistrement du coefficient de friction de la surface de la route doit être envisagé. Toutefois, nous n'avons émis aucune recommandation sur la méthode à utiliser ou la classification de cette variable.

E. Classification de la température

La classification actuelle se présente comme suit :

Pays-Bas

Aucun enregistrement

Finlande

Inférieure à -4 °C  
Entre -4 °C et -1 °C  
Entre 0 °C et +4 °C  
Supérieure à +4 °C

Norvège

Enregistrée comme variable continue

Suède

Aucun enregistrement

Grande-Bretagne

Aucun enregistrement

Suisse

Aucun enregistrement

Danemark

Aucun enregistrement

Autriche

Aucun enregistrement

Actuellement, les températures ne sont enregistrées que dans 2 des 8 pays.  
Nous recommandons d'enregistrer cette variable en continu dans tous les pays.



## 5.8. ANALYSES COUTS-AVANTAGES D'UN SERVICE DE METEOROLOGIE ROUTIERE

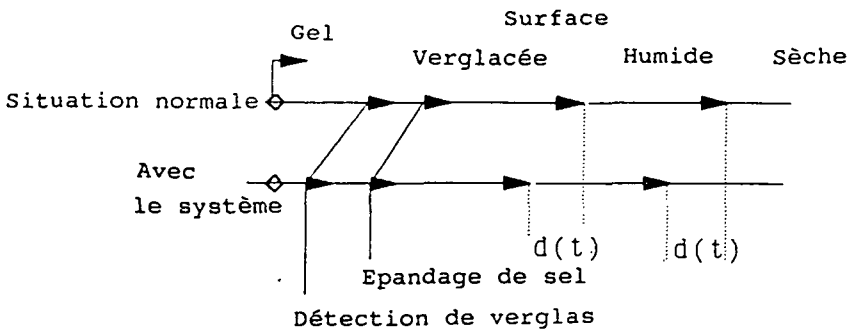
### 5.8.1. Introduction

Le problème consiste globalement à déterminer les avantages directs et indirects du système de météorologie routière proposé aux responsables de l'entretien des routes et aux usagers de la route et à comparer ces avantages aux coûts liés à la mise à disposition et à l'utilisation du système de météorologie routière.

Le système de météorologie routière vise avant tout à améliorer la gestion des conditions de circulation routière et des conditions météorologiques de manière à permettre un entretien hivernal (prévention des routes glissantes et déneigement) systématique et opportun (figure 1).

Figure 1

### LES EFFETS DU SYSTEME DE METEOROLOGIE ROUTIERE SUR LA DUREE DE GLISSANCE DES ROUTES



$d(t)$  = Réduction de la durée de glissance des routes

Les coûts et les avantages du service de météorologie routière amélioré devraient être calculés en tenant compte des pertes et des profits liés :

- 1) à l'entretien des routes,
- 2) aux coûts de circulation,
- 3) aux effets écologiques, sociaux et psychologiques.

### 5.8.2. Avantages du système de météorologie routière

Le principal avantage réside dans la possibilité d'anticiper le gel de la surface de la route et, partant, d'éliminer les accidents dus aux routes glissantes. Toutefois, le temps de glissance de la route peut être réduit (sécurité, indirectement).

L'amélioration des conditions de circulation routière facilitera la circulation (temps de conduite, carburant, environnement, indirectement).

Les informations prodiguées aux conducteurs par divers moyens de communication peuvent aussi constituer un signal d'avertissement et, par conséquent, réduire le nombre d'accidents (sécurité, indirectement).

Une partie de ces avantages peut résulter d'une amélioration des méthodes d'entretien (avantages directs).

- Organisation du travail
- Quantité de matériels
- Systèmes de surveillance.

### 5.8.3. Coûts du système de météorologie routière

Les coûts peuvent d'abord se répartir en deux catégories :

- système d'observation de la météorologie routière et de traitement des données (y compris les données radar et satellite),
- système et service de prévision.

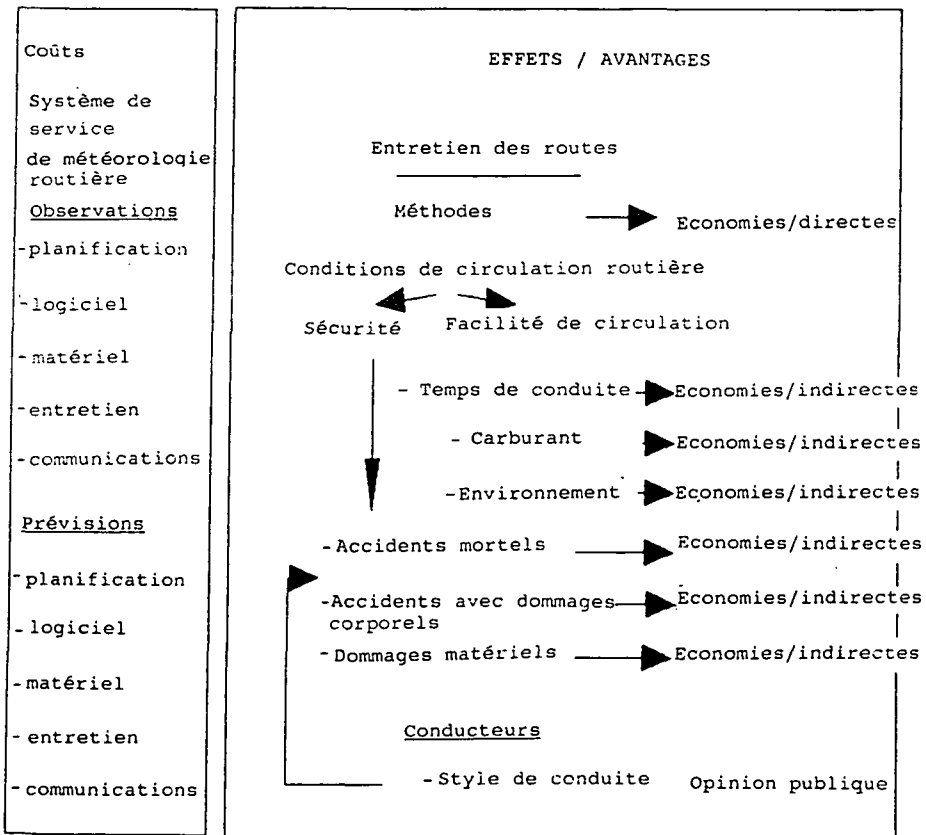
Ces deux catégories peuvent se subdiviser en cinq rubriques :

- planification
- logiciel
- matériel
- entretien
- communications.

La planification, le logiciel et le matériel sont des investissements qui devraient s'étaler sur xx années. L'entretien et les communications (location de lignes téléphoniques ou de lignes de transmission de données, etc.) sont des frais annuels (figure 2).

Figure 2

SCHEMA COUTS-AVANTAGES DU SERVICE DE METEOROLOGIE ROUTIERE



#### 5.8.4. Une méthode de calcul des avantages

Les économies qui sont uniquement liées à l'entretien des routes (réduction du sel, organisation du personnel, etc.) peuvent se calculer en comparant les coûts des activités d'entretien avec et sans système de météorologie routière.

Les avantages pour les coûts de circulation peuvent être représentés sous forme d'avantages des divers postes de coûts de circulation.

Coûts de circulation = coûts des accidents + coûts du véhicule + coûts en temps

#### Economies réalisées en matière de coûts des accidents

Un effet du système de service de météorologie routière pourrait notamment être d'accélérer de 50 % l'épandage de sel. Si l'épandage de sel débute normalement 3 heures après avoir reçu confirmation du changement des conditions de circulation routière, ce temps sera désormais ramené à 1,5 heure. Ce type d'amélioration des activités d'entretien réduirait le nombre d'accidents de 3 à 17 % selon le district et l'hiver (conformément à la recherche menée en Finlande en 1988). Les accidents (morts, blessés, dommages matériels) sont évalués différemment dans chaque pays (p. ex. en Finlande, un accident mortel coûte 8 millions de marks finlandais environ).

Remarques :

- les causes d'activités se présentent aléatoirement le matin et le soir;
- les variations de circulation pendant ces activités ne portent pas à conséquence;
- les conditions de circulation routière (verglas-neige fondue-route mouillée-route sèche) varient simplement entre "verglas" et "route sèche".

L'équation des économies réalisées en matière de coûts des accidents se présente comme suit :

$$S_{acc} = \sum_{k=1}^3 (\Delta R_k \cdot UC_k) \cdot \sum_{i=1}^n \left[ (F_i \cdot \Delta T) \cdot \sum_{j=1}^m (L_{ij} \cdot ADT_{ij})^{1/440} \right]$$

$$R_k = R_{(glace)} - R_{(sec)} = \text{variation du risque d'accident (échelle : nombre d'accidents / km)}$$

$UC_k$  = Coût unitaire de l'accident (valeur estimée de l'accident)  
 k = type d'accident  
 1 = accident mortel  
 2 = accident avec blessés (sans 1)  
 3 = tous les accidents (sans 1 et 2)

$F_i$  = Nombre d'activités de dégel / année / district d'entretien  
 i = district d'entretien

$\Delta T$  = Réduction du temps de glissance des routes due à l'accélération des activités de dégel

$L_{ij}$  = Longueur du réseau routier  
 i = district d'entretien  
 j = catégorie de route

$ADT_{ij}$  = Circulation journalière moyenne  
 i = district d'entretien  
 j = catégorie de route

1440 = Nombre de minutes dans 24 heures

#### Economies de coûts en temps

Grâce au système de service de météorologie routière, un épandage de sel ou un déneigement plus rapide améliorera la facilité de circulation et réduira le temps de conduite de nn minutes, d'où une économie de temps de conduite.

L'équation des économies de coûts en temps  $S_t$  se présente comme suit :

#### Economies de coûts en temps

$$S_{\text{temps}} = \sum_{z=p}^t \Delta TC_z \left[ \sum_{i=1}^a \left[ (F_i * \Delta T) * \sum_{j=1}^a (L_{ij} * ADT_{ijz} / 1440) \right] \right]$$

$\Delta TC_z$  = Economies de coûts en temps à des vitesses de...  
 p = voiture particulière ... 80 km/h à 90 km/h  
 t = poids lourd ... 70 km/h à 80 km/h

$F_l$  = Nombre d'activités de dégel et de déneigement / année / district d'entretien  
 l = district d'entretien

$\Delta T$  = Réduction du temps de glissance des routes due à l'accélération des activités de dégel

- $L_{ij}$  = Longueur du réseau routier  
*i* = district d'entretien  
*j* = catégorie de route
- $ADT_{ijz}$  = Circulation journalière moyenne  
*i* = district d'entretien  
*j* = catégorie de route  
*z* = voiture particulière (p), poids lourd (t)
- 1440 = Nombre de minutes dans 24 heures

#### Economies de coûts de véhicule

Un déneigement opportun influence l'épaisseur de la neige sur la chaussée. Une épaisseur de neige de 0 à 8 cm entraîne une augmentation de 0 à 10 % du coût du véhicule (carburant, etc.). En mettant en évidence l'étendue de la réduction de l'épaisseur moyenne de la neige au cours de chutes de neige, le système de météorologie routière nous permet de calculer les avantages pour les coûts de véhicule.

L'équation des économies de coûts de véhicule  $S_v$  se présente comme suit :

Economies de coûts de véhicule

$$S_{\text{véh.}} = \sum_{z=p}^t \left( \sum_{i=1}^n \left[ (F_{pi} \cdot \Delta T_p) \cdot \sum_{j=1}^5 (L_{ij} \cdot ADT_{ijz} / 1440) \right] \cdot \Delta VC_z \right)$$

$F_{pi}$  = Nombre de chutes de neige entraînant un déneigement  
*i* = district d'entretien

$\Delta T_p$  = Durée de l'économie de temps estimée au début du déneigement

$L_{ij}$  = Longueur du réseau routier  
*i* = district d'entretien  
*j* = catégorie de route

$ADT_{ijz}$  = Circulation journalière moyenne  
*i* = district d'entretien  
*j* = catégorie de route  
*z* = voiture particulière (p), poids lourd (t)

1440 = Nombre de minutes dans 24 heures

$\Delta VC_z$  = Economies de coûts de véhicule  
*z* = voiture particulière (p), poids lourd (t)

Les avantages écologiques, sociaux et psychologiques sont très difficiles à déterminer, mais ils présentent un intérêt pour le grand public.

## **Problèmes**

Les coûts du système de météorologie routière peuvent se calculer de façon relativement précise. Les avantages ne constituent que des approximations théoriques. Il est impossible de déterminer avec exactitude dans quelle mesure le service de météorologie routière réduira le temps de circulation sur routes glissantes.

### **5.8.5. Activités dans les pays européens**

#### **5.8.5.1. Finlande**

La Finlande compte 13 districts routiers. Le réseau de routes publiques présente une longueur totale de 76.000 km. Les routes principales (catégorie I) interviennent pour 7.437 kilomètres. 7 % des routes principales environ traversent le district routier de Kymi.

#### **Coûts du système de météorologie routière**

Les coûts peuvent se diviser en investissements et en dépenses annuelles. La planification du système, le logiciel et le matériel constituent des investissements. L'entretien du système, les prévisions et les images radar ainsi que les frais de communication représentent des dépenses annuelles.

Pour l'ensemble du pays, les investissements du système et les dépenses annuelles par district s'élèvent respectivement à 4,3 millions d'Ecus (21 millions de FIM) et à 0,14 million d'Ecus (0,7 million de FIM) environ. Si les investissements sont accordés sur 6 ans et aux 13 districts, ils représentent 0,06 million d'Ecus (0,27 million de FIM) par an et par district routier. Par conséquent, les dépenses annuelles totales du système s'élèvent à 0,20 million d'Ecus (0,97 million de FIM) pour le district de Kymi, soit 367 Ecus (1800 FIM) par kilomètre de route principale.

#### **Avantages du système de météorologie routière**

Lors des activités de dégel, les responsables de l'entretien des routes ont évalué les économies des coûts en temps à une moyenne de 23 minutes par activité. En Finlande, le prix moyen d'un accident est fixé à 61.000 Ecus (300.000 FIM) environ. Selon les études effectuées, la variation du risque d'accident entre des conditions de circulation sur route verglacée et sèche est de l'ordre de 5,8/1.000.000 accidents/km.

L'entretien plus rapide autorisé par le système de météorologie routière présente les avantages suivants qui sont calculés en appliquant l'équation au district de Kymi :

- économies des coûts des accidents 0,9 million d'Ecus (4,2 millions de FIM)
- économies des coûts en temps 0,06 million d'Ecus (0,3 million de FIM)
- économies des coûts de véhicule 0,02 million d'Ecus (0,1 million de FIM)
  
- total annuel pour le district de Kymi 0,94 million d'Ecus (4,6 millions de FIM)

Le rapport coûts/avantages est donc de l'ordre de 1/5 environ pour le district routier de Kymi. En matière de climat et de circulation routière, Kymi représente un district routier finlandais typique.

#### 5.8.5.2. Autriche

En Autriche, toutes les activités d'entretien hivernal - notamment le nettoyage et le déneigement, les actions d'épandage et de contrôle - dépendent à l'heure actuelle des conditions météorologiques correspondantes (absence de phénomène météorologique, crachin, pluie, neige, brouillard, vent) et de la température relevée à un moment donné sur les autoroutes de la Basse-Autriche (300 km environ) au cours des 5 dernières années. Les études sont presque terminées et montrent dans les grandes lignes la tendance suivante :

66 % des actions de contrôle enregistrées se sont déroulées en l'absence de "phénomènes météorologiques", 10 % en présence de neige et le reste s'est réparti entre les paramètres restants (fig. 4). 42 des 66 % d'activités de contrôle ont eu lieu à des températures comprises entre -1 et +2 degrés centigrades. Un danger de verglas considérable et une grande incertitude existent surtout à ces températures; un système d'information de météorologie routière adapté pourrait dès lors réduire les activités de contrôle de 50 % au moins. Pour illustrer les économies possibles, ajoutons que le paramètre "aucun phénomène météorologique" susmentionné couvre 7.000 actions (avec camions). En supposant qu'une action de ce type concerne une quarantaine de kilomètres, nous obtenons 280.000 kilomètres de routes entretenues.

De plus, l'épandage de NaCl présente une tendance similaire; cela signifie que 34 % des agents utilisés ont été employés en l'absence de "phénomène météorologique" (fig. 3). Une proportion très élevée de ces épandages (67 %) s'est déroulée à des températures comprises entre +2 et -3 degrés centigrades (fig. 5). Par conséquent, nous constatons ici aussi qu'un système d'information de météorologie routière permettrait des économies considérables. Il va sans dire que les données ne sont valables que pour la région analysée.



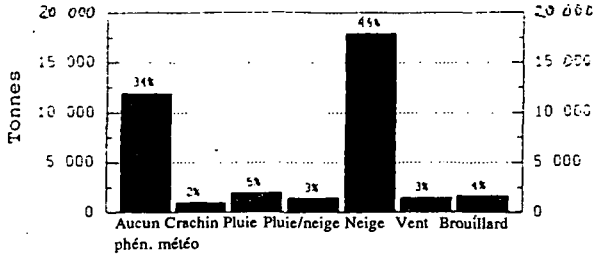


Fig. 3 Quantité de NaCl dans diverses conditions météorologiques

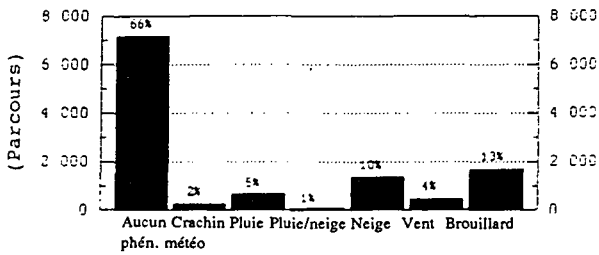


Fig. 4 Parcours de contrôle (camions) dans diverses conditions météorologiques

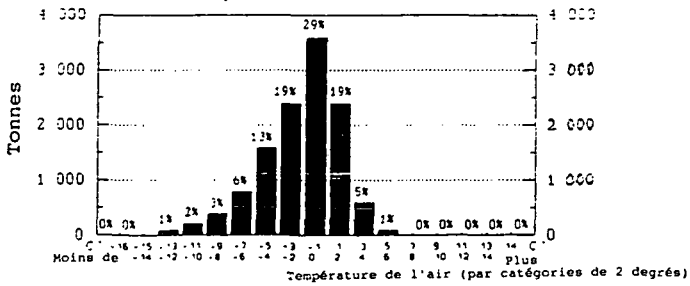


Fig. 5 Quantité de NaCl en fonction de la température de l'air, aucun phénomène météorologique

### 5.8.5.3. Autres pays

Les avantages du système de météorologie routière ont été évalués dans plusieurs pays, notamment au Royaume-Uni, en Suède et en Allemagne. Les évaluations ont principalement porté sur les avantages directs de l'entretien mais, actuellement, les études traitent aussi de plus en plus des avantages relatifs aux coûts de circulation.

### 5.8.6. Recommandations

Lors de la détermination des avantages du système de météorologie routière, nous recommandons aussi de calculer, en plus des avantages qui améliorent directement l'entretien, les avantages qui influencent les coûts de circulation. Le présent document en constitue une illustration.

## 5.9. Communication entre les météorologistes et les services responsables de l'entretien des routes

Dans les parties précédentes, nous avons expliqué l'existence de systèmes de capteurs routiers et de prévisions météorologiques en vue d'informer les ingénieurs des ponts et chaussées de la situation (prévue) pour l'entretien hivernal d'une portion de route spécifique. Ces informations sont diffusées différemment en fonction des accords nationaux entre pouvoirs publics. Les systèmes de capteurs routiers comprennent habituellement une station de travail sur ordinateur personnel pour visualiser les informations récoltées au niveau du capteur routier. Les prévisions météorologiques ne sont parfois diffusées que par télécopies quotidiennes, mais une station de travail permet généralement aussi de visualiser les prévisions sous forme de textes et de graphiques. Dans ce dernier cas, les stations de travail récoltant les mesures à la surface de la route et les prévisions météorologiques peuvent être combinées.

Les informations comprennent habituellement des températures à la surface de la route, des températures de l'air, des températures du point de rosée, la vitesse/direction du vent, la pluie ou la chute de neige et des renseignements sur les résidus de sel. Les instituts météorologiques de certains pays enregistrent aussi des informations radar. En général, les systèmes de capteurs routiers ne relèvent pas d'informations sur les nuages. Toutefois, il est bien connu que la couverture nuageuse, la hauteur et le type de nuages régissent l'équilibre des rayonnements à la surface de la terre. Celui-ci est au centre d'études assez détaillées de la troposphère.

Le groupe COST 309 a remarqué que les ingénieurs responsables de l'entretien des routes ne possédaient pas toujours une connaissance fondamentale de la troposphère. Pour tirer pleinement profit de systèmes de capteurs et de prévisions météorologiques, les ingénieurs devraient participer à un (court) programme de formation dans le but d'améliorer leur compréhension de la physique de la troposphère en mettant l'accent sur l'état de la surface des routes en hiver. Un programme de formation de ce type pourrait par exemple très bien décrire la physique du modèle de surface de la route utilisé par l'institut météorologique et des météorologistes pourraient expliquer la signification des divers paramètres mesurés par le système de capteurs routiers. Les difficultés d'interprétation des images radar ont déjà été exposées et peuvent aussi être intégrées dans le cours de formation.

Le projet COST 309 a révélé l'existence d'un programme de formation dans certains pays (France, Suède) alors que, dans d'autres pays, des programmes sont lancés. L'expérience acquise par les membres du projet COST 309 indique que les ingénieurs de l'entretien préfèrent une formation élémentaire ne conférant qu'une connaissance de base et s'accompagnant toutefois de références à des ouvrages plus complets et faciles à lire. La durée du programme ne devrait normalement pas dépasser une journée et devrait aussi inclure des échanges de vues entre ingénieurs et météorologistes en vue d'apporter des améliorations. Il serait préférable d'organiser la formation juste avant l'hiver et de la lier à des recyclages ou mises à jour annuels.

En hiver, les ingénieurs des ponts et chaussées doivent être en mesure de contacter un météorologiste - par exemple par téléphone - en présence d'une "situation délicate". Il peut par exemple s'agir d'une situation où les prévisions indiquent une route mouillée et une température minimale de 0 °C environ. Cette situation est délicate, car, d'une part, la précision d'une prévision est de l'ordre de 1 à 2 degrés Celsius en fonction de l'heure de diffusion et, d'autre part, la température minimale réelle de la surface d'une route peut tomber au-dessus ou en dessous de zéro degré. La précision indiquée est valable pour une prévision de 10 à 20 heures (température minimale prévue l'après-midi pour le lendemain matin très tôt). Dans une situation délicate, il importe de fournir à l'ingénieur des ponts et chaussées les informations météorologiques les plus récentes (ainsi que des prévisions à très court terme), car la précision d'une prévision météorologique est d'autant meilleure que l'échéance est proche (prévisions à très court terme : 1 à 2 heures à l'avance).

Si l'ingénieur des ponts et chaussées émet le moindre doute sur les images radar, il doit pouvoir consulter un météorologiste qui lui donnera de plus amples informations sur la signification des échos radar. Comme nous l'avons déjà expliqué, les échos n'indiquent pas toujours la présence de précipitations. L'ingénieur des ponts et chaussées peut parfois avoir besoin

d'informations sur la nature des précipitations, savoir s'il s'agit de pluie ou de neige, etc. En général, les images radar répondent à l'attente de l'ingénieur des ponts et chaussées en apportant un complément d'informations à son système de capteurs routiers.

Selon les accords passés entre l'institut météorologique et les ingénieurs de l'entretien des routes, des accords spéciaux peuvent également intervenir entre les météorologistes et les ingénieurs des ponts et chaussées. Par exemple, un météorologiste peut souhaiter contacter un ingénieur des ponts et chaussées à l'occasion d'intempéries inattendues. Des accords devraient notamment permettre au météorologiste de passer un rapide coup de téléphone à l'ingénieur des ponts et chaussées pour l'informer des plus récentes évolutions d'une situation, surtout si celle-ci survient la nuit (soit en dehors des heures de bureau).

#### 5.10. DIFFUSION DES INFORMATIONS ENTRE LES SERVICES METEOROLOGIQUES

La tâche initialement fixée dans le cadre du projet COST 309 consistait à définir un protocole unique de communication entre les stations automatiques mesurant la météorologie routière et les centres informatiques collectant les données produites. L'idée était de concevoir un protocole unique pour :

- permettre une consultation internationale des données en vue de proposer des informations météorologiques facilitant les déplacements à l'étranger par la route (ce qui est souvent le cas des poids lourds);
- permettre aux fabricants européens de stations de mesure de la météorologie routière de commercialiser leurs produits à l'échelle européenne plutôt que nationale; réciproquement, l'établissement d'un marché européen de stations de ce type accroîtra la concurrence et l'éventail des produits proposés aux clients (à savoir les offices météorologiques et les services des ponts et chaussées).

Les offices météorologiques nationaux pourraient ainsi ultérieurement échanger les mesures relevées et leurs prévisions; pour les objectifs du projet COST 309, ces prévisions devraient être adaptées aux exigences particulières de la prévision en météorologie routière.

Le présent rapport traite dès lors avant tout des protocoles de transmission de données entre les stations de mesure et les centres de collecte de données, puis il aborde des idées d'échange futur de données et de prévisions de météorologie routière en s'inspirant du projet "4P" (voir en page 98).

### 5.10.1. Normalisation des protocoles de transmission de données

#### 5.10.1.1. Etat d'avancement des travaux au lancement du projet COST 309

Divers pays - en particulier la France et le Royaume-Uni - ont entamé l'installation d'un réseau relativement vaste de stations météorologiques automatiques plusieurs années avant le lancement du projet COST 309 (en 1987); chaque pays a défini son propre protocole de transmission standard.

- A l'époque, le lien entre la météorologie et les transports routiers, c'est-à-dire l'idée de mesurer les conditions de météorologie routière, était assez inédit (il s'agit à l'heure actuelle d'un concept bien établi et d'une réalisation majeure du projet COST 309). Il existe donc différentes normes de communication pour les stations météorologiques et les stations de mesure de la météorologie routière. En France par exemple, la norme météorologique (PATAC) et la norme de la météorologie routière (TEDDY) sont malheureusement incompatibles.
- Ces normes ont été établies à une époque où des limites techniques (faible capacité des ordinateurs, surtout des micro-ordinateurs, utilisés pour centraliser les informations provenant des stations de mesure; faible volume de données pouvant être transmis à un coût raisonnable; très faible puissance informatique des stations de mesure il y a 5 à 7 ans par rapport aux stations actuelles) et le besoin d'établir ce type de norme très rapidement - vu la demande croissante - ont conduit à l'élaboration de normes restrictives difficilement adaptables aux progrès techniques.

Le projet COST 309 est arrivé trop tard pour avoir une quelconque chance d'harmoniser les normes rigides qui avaient déjà été fixées, car le réseau de stations de mesure installé était déjà trop vaste.

#### 5.10.1.2. Evolution de l'équipement

Les ponts et chaussées et les services météorologiques ne sont pas les seuls utilisateurs des stations de mesure automatiques : les organisations agricoles emploient notamment des stations de mesure agrométéorologiques, ce qui exige un plus grand nombre de nouvelles normes de communication. Nous pouvons constater l'ampleur de la prolifération en recensant toutes les normes et toutes leurs révisions.

Les stations de mesure automatiques - qu'elles soient météorologiques, placées le long de la route, etc. - renferment des composants informatiques essentiels; l'évolution de leurs performances a suivi les améliorations des performances des ordinateurs en général. Les stations de mesure capables de dialoguer avec un centre de collecte de données au moyen de divers protocoles

et de reconnaître dès la connexion le type de protocole utilisé par l'ordinateur appelant sont notamment assez rares. Vu la faible capacité de mémoire disponible pour enregistrer les programmes et la lenteur des processeurs, cela aurait été impensable il y a quelques années. Un seul protocole unifié pour tous les pays n'est donc plus primordial : il suffit que les stations reconnaissent les divers protocoles. En tout état de cause, des améliorations fonctionnelles de ce type, qui sont liées aux progrès de l'informatique en général, devraient se poursuivre au cours des prochaines années.

Le changement le plus important attendu pour les cinq prochaines années concernera le support de communication : jusqu'à présent, le principal support de communication entre une station de mesure et son centre de collecte de données était le réseau téléphonique (analogique) traditionnel qui autorisait des vitesses de transmission de 1.200 bits/seconde. La généralisation attendue des réseaux téléphoniques numériques au cours des prochaines années entraînera l'abandon progressif des anciens réseaux analogiques et permettra des vitesses de transmission de plusieurs dizaines de Kbits/seconde (2 x 64 Kbits/seconde en France, soit 100 fois plus vite environ que précédemment). Ce nouveau support permettra d'échanger des volumes de données supérieurs entre les stations de mesure et les centres de collecte de données. Les normes de communication adaptées à ces nouvelles vitesses de transmission et à ces volumes de données apparaîtront en temps voulu.

#### 5.10.1.3. Conclusion

Il n'est plus nécessaire d'harmoniser les protocoles pour pouvoir installer des modèles de station automatique différents en Europe. Les fabricants doivent simplement connaître les protocoles utilisés dans les autres pays. Toutefois, bien qu'une multiplicité des normes ne constitue pas un obstacle insurmontable, elle représente une dépense d'énergie inutile, d'une part, pour les personnes chargées de définir les normes (un travail de conception très similaire est répété à plusieurs reprises dans chaque pays) et, d'autre part, pour les fabricants (bien que simple, le développement de plusieurs protocoles est onéreux et fastidieux). Bien que cette situation soit inévitable pour les protocoles existants antérieurs à la première tentative de normalisation, il devrait être possible de remédier à ce problème pour les nouveaux protocoles qui seront sans aucun doute développés pour les réseaux numériques au cours des prochaines années. Une nouvelle norme commune à tous les pays sera dès lors possible et souhaitable pour 1992-1993.

Hormis la question des protocoles, il devrait être possible de proposer une consultation internationale des données de météorologie routière, non pas au niveau des stations de mesure, mais au niveau des centres de collecte de données (les centres informatiques gérés par l'office météorologique ou les

ponts et chaussées) qui sont responsables de la collecte et de la surveillance des données et chargés de corriger les éventuelles erreurs de mesure ou de reconstituer les données manquantes au moyen d'outils mathématiques convenant pour tous les réseaux de mesure. L'utilisateur pourrait alors consulter des données vérifiées et non plus des données brutes.

#### 5.10.2. Prévision des conditions de météorologie routière

Avant d'aborder l'échange des prévisions de météorologie routière entre les services météorologiques, il convient de signaler que ces services échangent déjà quotidiennement de nombreuses informations; cet échange d'informations est entièrement indépendant du projet COST 309 et, dans certains cas, ne date pas d'hier. Les données échangées comprennent :

- des mesures relevées par le réseau d'observation "synoptique" (en moyenne, une station tous les 100 km dans toute l'Europe);
- des images de précipitations par radar météorologique (se reporter au projet COST 73);
- des champs météorologiques provenant de modèles de prévision numériques, en particulier les modèles britannique, français et allemand ainsi que le modèle du Centre européen des prévisions météorologiques à moyen terme.

##### 5.10.2.1. Nécessité d'une définition commune

Les deux facteurs essentiels suivants imposent de définir la prévision de la "météorologie routière" :

- les usagers de la route - conducteurs de voitures et de poids lourds - prennent souvent le volant pendant de longues périodes (une période de 12 heures n'est pas exceptionnelle). Il ne suffit pas de connaître les conditions météorologiques observées par exemple au moyen des stations automatiques présentées dans le chapitre précédent pour décrire les conditions météorologiques que le conducteur rencontrera et qui peuvent considérablement varier en douze heures. Le décalage est encore plus important si un conducteur désire planifier son voyage, disons, 24 heures à l'avance. Pour des déplacements à travers plusieurs pays, les usagers de la route ont dès lors besoin de prévisions météorologiques élaborées par divers offices météorologiques nationaux.
- Les conditions météorologiques susceptibles d'entraver la circulation routière sont assez spécifiques : glace, neige, brouillard (uniquement s'il est dense), etc. Les offices météorologiques doivent dès lors adapter leurs prévisions aux besoins et à la langue des usagers de la route.

Le concept des prévisions de "météorologie routière" doit donc être développé pour répondre à ce besoin et garantir un échange de ces prévisions de "météorologie routière" entre les offices météorologiques de divers pays. Un échange d'informations sur les conditions météorologiques observées ou mesurées - qui, bien qu'insuffisant en soi, est néanmoins très utile - doit aussi être possible.

#### 5.10.2.2. Projet "4P" (Prévision Par Petits Pavés)

Ce projet a été conjointement lancé en France par les ponts et chaussées et le service météorologique. Il vise à établir un système préparant et proposant des prévisions météorologiques aux usagers de la route. Il a fait l'objet d'une description détaillée lors du séminaire de la SERWEC à Florence en 1988. Pour de plus amples informations, le lecteur se référera aux documents du séminaire : le projet est résumé ci-dessous.

#### Principes élémentaires

Le projet "4P" repose sur deux composants fondamentaux :

- Petites divisions géographiques arbitraires : le territoire servant de base aux prévisions de météorologie routière est divisé en pavés tous les  $1/2^\circ$  de latitude et de longitude, ce qui, en France équivaut à 40 km x 60 km environ.
- Une liste des "types de météorologie routière significatifs" - types de conditions météorologiques affectant les conditions de circulation (notamment verglas généralisé, grand vent, etc.).

Le projet "4P" définit et prévoit ensuite heure après heure les deux types de météorologie routière prédominants pour chaque pavé de la grille. Il pourrait être trop restrictif de se limiter à un seul type de météorologie routière significatif par pavé et par heure (p. ex. si un verglas et un brouillard dense étaient tous deux prévus pour le même pavé); inversement, le traitement se compliquerait considérablement si tous les types de météorologie routière significatifs étaient pris en compte à une heure précise pour le même pavé et le supplément d'information serait négligeable lorsqu'il est possible d'identifier les deux facteurs qui influencent en priorité les conditions de circulation.

Le projet se limite à des prévisions pour une période compatible avec les dimensions du pavé en élaborant une prévision de météorologie routière pour les 36 heures suivantes. Les prévisions ne sont pas préparées à l'office central de Paris - responsable des prévisions à moyen terme -, mais dans les offices interrégionaux (Lille, Rennes, Bordeaux, Marseille, Lyon, Strasbourg et Le Bourget) qui sont tous responsables de la prévision à court terme sur une partie du territoire national.



### Préparation des prévisions

Le prévisionniste chargé de la météorologie routière détient les informations nécessaires pour réaliser une prévision à court terme :

- les champs météorologiques issus du modèle PERIDOT à petites mailles (35 km), tous les jours pour des périodes de 36 ou de 30 heures à partir de minuit et de midi;
- les images de METEOTEL, y compris des images radar et satellite des précipitations, des cartes d'impact des éclairs, des mesures au sol provenant de stations météorologiques.

Grâce à ces informations, le prévisionniste compose, pour des périodes successives, des cartes des types de météorologie routière significatifs de la zone géographique dont il est responsable et introduit ces cartes sur un micro-ordinateur au moyen d'une souris. Il ne doit pas se soucier de la distribution des types de météorologie routière significatifs par pavé, car l'ordinateur s'en charge. Dans un avenir proche, les cartes des types de météorologie routière significatifs seront automatiquement conçues par l'ordinateur et le prévisionniste se contentera de les retoucher ou de les remanier intégralement s'il le souhaite.

### Diffusion des prévisions

L'ordinateur se sert des cartes prévisionnelles de météorologie routière introduites et contrôlées par le prévisionniste pour transmettre des informations aux utilisateurs sous diverses formes :

#### - Message 4P

Ce message permet un échange de prévisions entre les offices météorologiques. A l'heure actuelle, il est exclusivement utilisé en France; toutefois, le message 4P pourrait sans problème être étendu à l'Europe entière moyennant certaines légères modifications : à cette fin, la syntaxe du message 4P a fait l'objet d'un document de travail COST 309 en 1988 (voir l'annexe). Le message 4P décrit les types de météorologie routière significatifs qui ont été observés ou prévus soit pour l'intégralité ou la majeure partie de chaque pavé, soit pour des portions homogènes plus petites de certains pavés telles que les zones urbaines, côtières, etc.

### - Vidéotex

Ce mode de transmission est aujourd'hui très populaire en France et il a été retenu pour diffuser des informations au grand public : il propose une carte récapitulative montrant la division en pavés (la faible résolution de ce type de terminal n'autorise pas les graphiques précis) et une description des types de météorologie routière significatifs qui ont été relevés dans chaque pavé.

### - Coupes chronologiques

Il s'agit de représentations graphiques des types de météorologie routière significatifs qui ont été relevés sur un itinéraire déterminé (p. ex. le long d'une autoroute) au cours d'une période de temps. Un exemple (fictif) figure en annexe. De telles coupes peuvent être transmises par télécopie ou sur demande entre les serveurs graphiques des offices météorologiques ou des services des ponts et chaussées.

### - Cartes prévisionnelles

Les cartes élaborées par les prévisionnistes peuvent être obtenues de la même façon que les coupes chronologiques. Un utilisateur consultera plus aisément une section chronologique alors qu'un office météorologique sera davantage intéressé par les cartes servant à générer ces sections : si nécessaire, il peut reconstituer les sections chronologiques à partir des cartes.

### Calendrier

1987	Décision de lancer le projet 4P
1987-1989	Mise au point de la première version
Hiver 1989/1990	Exploitation limitée (sur une base expérimentale) dans l'ouest de la France; service des ponts et chaussées très intéressé
Hiver 1990/1991	Utilisation dans plusieurs régions (ouest, centre, nord) pour identifier et résoudre les problèmes de compatibilité posés par la cartographie des prévisionnistes de régions différentes. Le même problème se posera si le projet 4P ou un de ses successeurs est utilisé à l'échelle européenne
1990-1992	Mise au point du projet 4P sur un poste de travail, y compris l'élaboration automatique de cartes prévisionnelles
A partir de l'hiver	
1991/1992	Exploitation du 4P dans toute la France

### 5.10.2.3. L'avenir

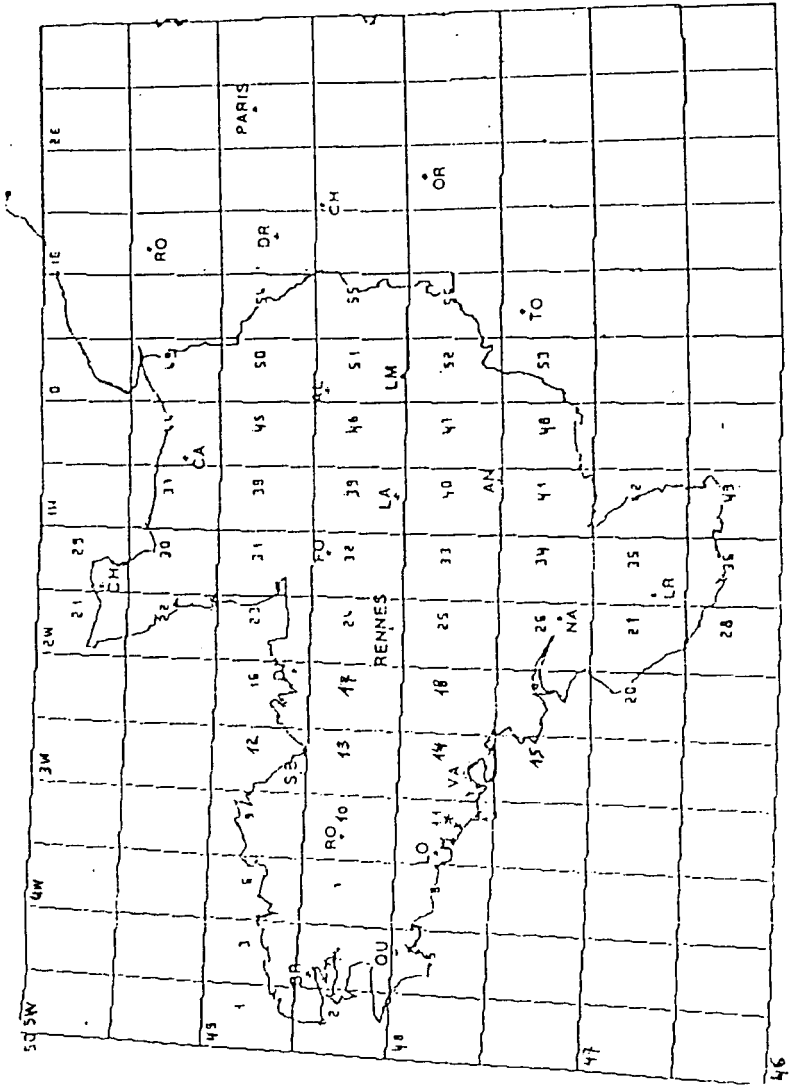
Le projet 4P est ambitieux et introduit un certain nombre d'idées nouvelles en matière de prévision de la météorologie routière. Même limitée à la France, la mise en oeuvre du projet couvrira une période plus longue que celle du projet COST 309. Comme ce projet fait oeuvre de précurseur, les concepts qu'il introduit pourront probablement être redéfinis après une période d'exploitation initiale. Il convient d'adopter une approche par étapes :

- une fois résolus les problèmes de compatibilité posés par la cartographie des bords des zones couvertes par divers prévisionnistes, il conviendra d'expérimenter le projet dans deux ou trois pays;
- puis, une fois les modifications nécessaires apportées, il faudra le généraliser.

Les progrès rapides, d'une part, de l'informatique et des communications et, d'autre part, de la qualité et du détail des prévisions météorologiques devraient permettre d'étoffer le projet 4P : par exemple, il est actuellement impossible de transmettre des graphiques sur une grande échelle, mais l'introduction de réseaux téléphoniques numériques à grande vitesse comblera cette lacune.

La mise en place d'un système européen d'échange de prévisions de météorologie routière exige manifestement une coopération européenne poursuivant dans ce domaine technique bien précis les travaux plus généraux lancés dans le cadre du projet COST 309. La France souhaite dès lors proposer une nouvelle opération COST couvrant cette réalisation pratique à la Commission européenne permanente de météorologie qui a été créée récemment pour contrôler et coordonner une coopération européenne en matière de météorologie.

ANNEXE 1



## ANNEXE 2

### Liste des types de météorologie routière significatifs observés ou prévus qui ont été utilisés par le projet 4P

A :	normal		
B :	température élevée	$T > 30^{\circ}$	plus ou moins généralisée
C :	faible gelée	$-3^{\circ} < T < +3^{\circ}$	par endroit
D :	gelée modérée	$-10^{\circ} < T < -3^{\circ}$	généralisée
E :	forte gelée	$T < -10^{\circ}$	généralisée
F :	pluie légère, crachin ou neige (fondante)		plus ou moins généralisé
G :	averses		dispersées
H :	averses		fréquentes
I :	fortes pluies		plus ou moins continues
K :	nappes de brouillard épais	$VV < 200$ m	
L :	brouillard épais	"	généralisé
N :	faibles chutes de neige		par endroit
O :	faibles chutes de neige		généralisées
P :	fortes ou très fortes chutes de neige		par endroit
Q :	fortes ou très fortes chutes de neige		généralisées
R :	(fortes) grêles		par endroit
S :	(fortes) grêles ou violentes tempêtes		fréquentes
T :	formation ou présence de plaques de verglas		
U :	formation ou présence d'un verglas généralisé		
V :	verglas		par endroit
W :	verglas		fréquent ou généralisé
Y :	situation exceptionnelle donnant lieu à un message d'avertissement		
Z :	données non disponibles		
1 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		du N
2 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		du NE
3 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		de l'E
4 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		du SE
5 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		du S
6 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		du SO
7 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		de l'O
8 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		du NO
9 :	vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h)		variable ou indéterminé

ANNEXE 3

COST 309

Document de travail présenté par  
la France en septembre 1988

Format proposé pour la transmission de prévisions  
météorologiques à l'intention des usagers de la route  
entre services nationaux d'information en  
matière de météorologie routière  
-----

Forme symbolique :

ZCZC

(En-tête du message à définir)

4P CCCC GGgg G'G'g'g' NC

ULP<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub> T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>EE ... T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>EE

...

ULP<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub> T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>EE T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>EE

NNN

Description du contenu :

4P CCCC GGgg G'G'g'g' NC

4P : identificateur du message  
CCCC : provenance du message (p. ex. LFPB = PARIS - LE BOURGET)  
GGgg : temps du réseau d'observation sur lequel la prévision repose  
GG : jour  
gg : temps universel  
G'G'g'g' : début de la validité des prévisions  
G'G' : jour  
g'g' : temps universel  
N : code indiquant le type de division en zones  
C : type de numérotation des zones

Un pays donné peut être divisé de plusieurs façons (N) et les zones résultantes peuvent être numérotées de diverses manières (C) pour réduire le nombre de données à transmettre. Les méthodes de division et de numérotation sont retenues en fonction des variations des types de météorologie routière significatifs : homogénéité ou variabilité élevée, passage lent ou très rapide, déplacement du nord au sud ou d'ouest en est, etc.

ULP<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub>

- U : parties d'une zone donnée
- 0 : toute la zone, l'altitude constituant la seule exception (ou différenciation impossible)
- 1 : toute la zone à l'exception des zones urbaines
- 2 : zones urbaines
- 3 : toute la zone à l'exception des zones côtières
- 4 : zones côtières
- 5 : toute la zone à l'exception des dépressions
- 6 : dépressions (vallées, etc.)
- 7 : toute la zone à l'exception des hauteurs
- 8 : hauteurs
- 9 : zones particulières. Dans ce cas, le champ L est valable.
- L : altitude et parties spécifiques de la zone
- 0 : toute la zone (U = 0) ou celle-ci à une altitude < 500 m
- 1 : au-dessus de 500 m
- 2 : au-dessus de 1.000 m
- 3 : au-dessus de 1.500 m
- 4 : au-dessus de 2.000 m
- 5 : traversée de forêts et de zones à l'ombre
- 6 : traversée de ponts et de viaducs
- 7 : pentes abruptes
- 8 : réservé
- 9 : réservé
- P<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>1</sub> : numéro de la première zone concernée
- P<sub>2</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub> : numéro de la dernière zone concernée

La description concerne les zones P<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>1</sub> à P<sub>2</sub>P<sub>2</sub>P<sub>2</sub>, la liste des zones correspondant au système de numérotation est définie dans le champ NC. Le nombre de zones de chaque pays ne peut dépasser 900.

Les numéros 900 à 999 sont réservés à la description de points spécifiques (viaducs, points d'accès de tunnels, cols de montagne). Cette liste sera toujours identique, quel que soit le type de numérotation employé. Elle n'excédera pas 99 dans chaque pays.

## T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>EE

T<sub>1</sub>T<sub>2</sub> : type de météorologie routière significatif, observé ou prévu

Chaque type de météorologie routière significatif est identifié par une lettre (A-Z) ou un chiffre (0-9). Il est possible de décrire deux types significatifs prévus. Si un seul type de météorologie routière significatif est prévu, le caractère approprié est répété.

A :	situation normale ou conditions climatiques n'affectant pas la circulation routière et les conditions de conduite	
B :	température élevée	T > 30° plus ou moins généralisée
C :	faible gelée	-3° < T < +3° par endroit
D :	gelée modérée	-10° < T < -3° généralisée
E :	forte gelée	T < -10° généralisée
F :	pluie légère, crachin ou neige (fondante)	plus ou moins généralisé
G :	averses	dispersées
H :	averses	fréquentes
I :	fortes pluies	plus ou moins continues
K :	brouillard épais	VV < 200 m par endroit
L :	brouillard épais	" fréquent ou généralisé
N :	faibles chutes de neige	par endroit
O :	faibles chutes de neige	généralisées
P :	fortes ou très fortes chutes de neige	par endroit
Q :	fortes ou très fortes chutes de neige	généralisées
R :	(fortes) grêles	par endroit
S :	(fortes) grêles ou violentes tempêtes	fréquentes
T :	verglas	par endroit
U :	verglas important	plus ou moins généralisé
V :	verglas	par endroit, dispersé
W :	verglas	fréquent ou général
Y :	situation exceptionnellement dangereuse donnant lieu à un message d'avertissement	
Z :	données non disponibles	



- 1 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) du N
- 2 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) du NE
- 3 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) de l'E
- 4 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) du SE
- 5 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) du S
- 6 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) du SO
- 7 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) de l'O
- 8 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) du NO
- 9 : vent violent (80 km/h < vitesse de vent maxi < 130 km/h) variable ou indéterminé

EE : fin du type de temps significatif représentée par  $T_1T_1$ ,  
comptage à partir de G'G'g'g'

### Exemple

Message correspondant au passage d'une perturbation atmosphérique hivernale d'ouest en est à la vitesse d'un pavé\* à l'heure. La zone concernée (voir la carte) correspond aux pavés situés entre Rennes et Paris. Il s'agit d'une prévision supérieure à 12 heures entre le 15 à 6 heures, et le 15 à 18 heures.

Types de conditions climatiques rencontrés :

- |          |   |                                     |
|----------|---|-------------------------------------|
| - D et K | Gelée modérée et nappes de brouillard   | Avant l'arrivée de la perturbation  |
| - W      | Verglas, fréquent ou généralisé         | Pendant 2 heures                    |
| - F      | Pluies légères, plus moins généralisées | Pendant 1 heure                     |
| - A      | Situation normale                       | Pendant 2 heures                    |
| - G      | Averses disséminées                     | Après le passage de la perturbation |

Un point spécifique est mentionné : le Mont-Saint-Michel, code 900 (grêle et fort vent d'ouest après le passage de la perturbation).

Les zones côtières des pavés 44 et 49 sont aussi mentionnées (fortes chutes de neige par endroit et fort vent du nord-ouest après le passage de la perturbation).

MESSAGE

ZCZC

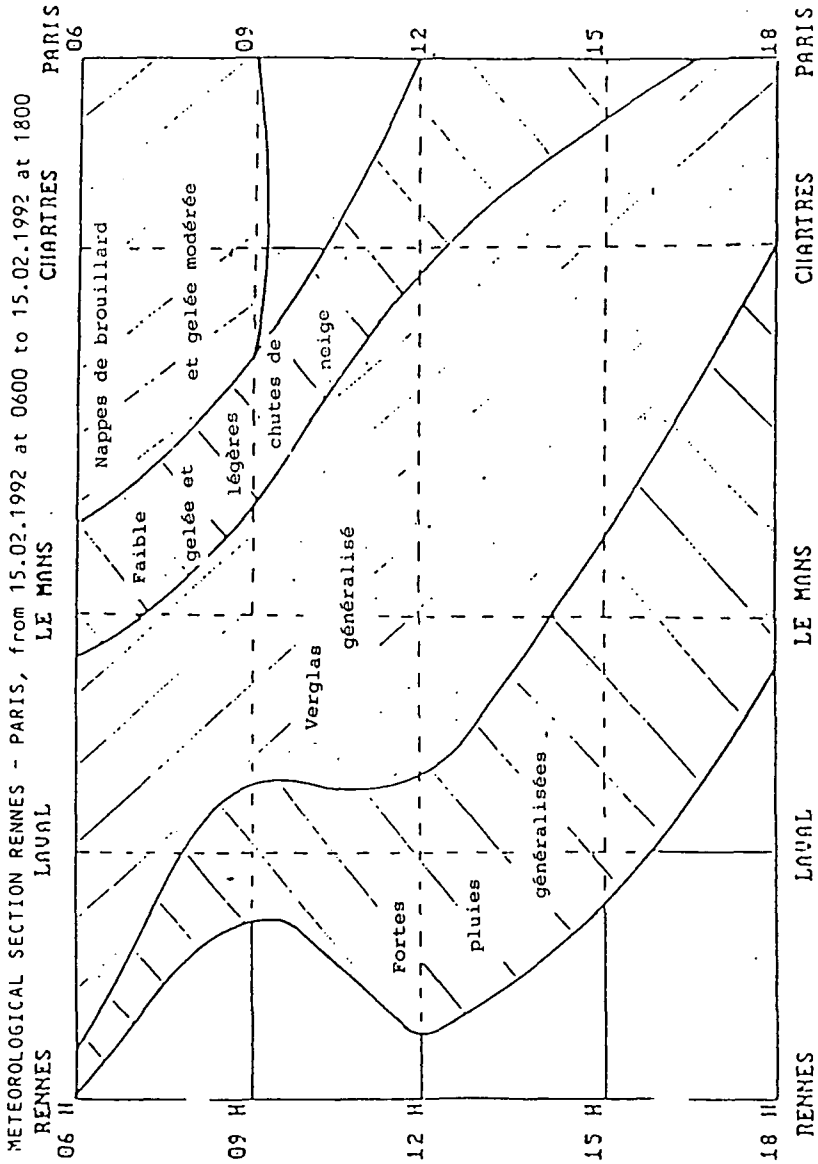
4 P LFRN 1503 1506 15\*

0 0	021	028	DK	06	WW	08	II	09	AA	11	GG	18
0 0	029	036	DK	07	WW	09	II	10	AA	12	GG	18
0 0	037	043	DK	08	WW	10	II	11	AA	13	GG	18
3 0	044	044	DK	09	WW	11	II	12	AA	14	GG	18
4 0	044	044	DK	09	WW	11	II	12	AA	14	P8	18
0 0	045	048	DK	09	WW	11	II	12	AA	14	GG	18
3 0	049	049	DK	10	WW	12	II	13	AA	15	GG	18
4 0	049	049	DK	10	WW	12	II	13	AA	15	P8	18
0 0	050	053	DK	10	WW	12	II	13	AA	15	GG	18
0 0	054	056	DK	11	WW	13	II	14	AA	16	GG	18
0 0	057	058	DK	12	WW	14	II	15	AA	17	GG	18
0 0	059	060	DK	13	WW	15	II	16	AA	18		
0 0	061	061	DK	14	WW	16	II	17	AA	18		
0 0	900	900	DK	06	WW	08	II	09	AA	11	RB	18

ANNEXE 4

Section météorologique Rennes-Paris entre le 15.02.1992 à 6 heures et le 15.02.1992 à 18 heures

ANNEX 4



## 5.11. DIFFUSION DES INFORMATIONS AUX USAGERS DE LA ROUTE

### 5.11.1. OBJET

Nous disposons aujourd'hui d'une multitude d'instruments, de modèles et de données de mesure pour faciliter les prévisions et déterminer les conditions de circulation routière et les facteurs météorologiques qui influencent directement la circulation routière.

Les plus importants sont les suivants :

- systèmes d'avertissement anticipé de glace
- stations automatiques de mesure des conditions climatiques
- instruments de mesure de l'épaisseur de la neige
- détecteurs de brouillard
- cartographie thermique de la surface des routes
- modèles météorologiques réduits
- radars météorologiques
- imagerie satellitaire
- etc.

La météorologie routière peut contribuer considérablement à maintenir la sécurité routière dans de mauvaises conditions météorologiques.

Avant d'entamer un périple sur des routes hivernales ou d'emprunter des portions qui présentent un danger potentiel, tout conducteur devrait tout naturellement se sentir obligé de s'informer des conditions de circulation routière et des conditions météorologiques qu'il risque de rencontrer.

Pour ce faire, l'usager de la route doit être en mesure de recevoir ces informations sous une forme simple et facilement compréhensible.

De plus, il serait souhaitable de pouvoir communiquer au conducteur de la voiture des changements soudains, inattendus et dangereux de la situation météorologique ou des conditions de circulation routière.

### 5.11.2. POSSIBILITES DE DIFFUSION DES INFORMATIONS DE METEOROLOGIE ROUTIERE

Les informations de météorologie routière peuvent à la base être diffusées sous deux formes : soit sous forme de bulletin (prévisions des conditions de circulation routière) spécialement préparé et adapté aux besoins des usagers de la route, soit sous forme de données brutes (indications de température, images radar).

Des bulletins et des prévisions rédigés peuvent revêtir la forme suivante :

- prévisions météorologiques générales
- prévision des conditions de circulation routière
- bulletin des conditions de circulation routière actuelles
- avertissement direct en cas de danger spécial
- consultations directes à l'office météorologique.

En outre, la diffusion de données météorologiques brutes pourrait être envisagée, p. ex. :

- température de l'air, température à la surface de la route
- précipitation, type et volume
- vitesse du vent
- formation de brouillard, visibilité
- imagerie satellitaire
- images de radars météorologiques
- etc.

Dans le cas de la communication directe de données de mesure aux usagers de la route, il convient d'étudier attentivement la question de la responsabilité. Il se peut que les données de mesure soient inexactes ou incomplètes. Si elles sont diffusées, elles peuvent donner l'impression que tous les endroits et situations dangereux sont connus, ce qui pourrait conférer aux automobilistes un faux sentiment de sécurité et engendrer une conduite distraite.

Les informations de météorologie routière peuvent être diffusées comme suit :

- radio, système de radioguidage (RDS)
- télévision
- téléphone
- vidéodiffusion (Télétexte, Antiope, Télévidéo, Vidéotexte, etc.)
- diffusion de textes par ligne téléphonique VTX (Télétext, Prestel, Vidéotex, Viditel, Vidéotel, Bildschirmtext, etc.)
- équipement spécial (Météotel).

Les informations de météorologie routière peuvent être diffusées par une multitude d'organisations telles que :

- les offices météorologiques
- les organisations d'usagers de la route (centres CEIR)
- les centres d'information spéciaux (p. ex. Centre national d'information routière en France).

Comme nous l'avons déjà mentionné dans les préliminaires, les informations de météorologie routière servent avant tout à préserver la sécurité routière en hiver. Les informations disponibles peuvent revêtir deux formes pour relever ce défi :

- Information

préliminaire

Avant le départ, l'utilisateur de la route devrait pouvoir être informé des conditions de circulation routière probables sur son itinéraire. Il peut ainsi évaluer son temps de conduite et contrôler les équipements de son véhicule.

Semblables informations préliminaires constituent certainement le facteur primordial d'une bonne sécurité routière en hiver.

- Avertissement du

danger actuel

Les usagers de la route devraient pouvoir recevoir des informations sur les situations météorologiques ou les conditions de circulation routière dangereuses directement dans leurs véhicules. Les autoradios, le système RDS et d'autres équipements spéciaux conviennent parfaitement pour cette tâche.

(Ces questions sont actuellement étudiées dans le cadre des projets communautaires DRIVE et PROMETHEUS. Il se peut que la généralisation d'autres systèmes d'information spéciaux soit quelque peu retardée pour des raisons techniques, juridiques et administratives.)

Les deux types d'informations sont complémentaires et il convient de tendre vers une terminologie normalisée pour tous les bulletins.

### 5.11.3. NORMALISATION DES INFORMATIONS DE METEOROLOGIE ROUTIERE

En matière de diffusion des informations aux usagers de la route, la principale tâche du projet COST 309 consiste à normaliser les prévisions de météorologie routière et les bulletins relatifs aux conditions de circulation routière.

Nous devrions viser à uniformiser à l'échelle européenne la terminologie décrivant l'état et la praticabilité des routes.

## Le travail du projet COST 309

La proposition consistait à définir clairement et sans ambiguïté les principaux termes décrivant les situations météorologiques, l'état et la praticabilité des routes et les dangers spécifiques.

Des documents déjà élaborés par d'autres organisations dans ce domaine ont été pris en considération, notamment :

- directives de l'EBU/UER sur la diffusion d'informations aux automobilistes
- catalogue des phénomènes (lexique en 7 langues), EBU/UER (octobre 1988)
- structure et contenu des messages à transmettre par RDS, Bundesanstalt für Straßenwesen, République fédérale d'Allemagne (septembre 1986)
- code CEIR des organisations européennes des usagers de la route
- terminologie de plusieurs offices nationaux météorologiques.

La terminologie proposée repose sur les principes suivants :

- limitation des informations aux faits importants pour les usagers de la route
- libellé concis et précis
- forme simple, facile à encoder

Il s'est avéré plus intéressant de diviser la terminologie en prévisions des conditions de circulation routière (conditions météorologiques et localisation) et en conditions de circulation routière actuelles (état des routes et praticabilité).

### 5.11.3.1. Terminologie à utiliser pour les prévisions de l'état des routes

#### 5.11.3.1.1. Conditions météo / état de la route / dangers

- Libre de neige et de glace
- Recouverte de neige
- Recouverte de neige fondante
- Recouverte de neige verglacée
- Verglacée
- Congères
- Aquaplanage
- Brouillard
- Vent fort
- Rafales de vent
- Danger de dérapage sur route couverte de feuilles mortes
- Fortes chutes de neige

5.11.3.1.2. Localisation / description

- Routes très fréquentées
- Routes peu fréquentées
  
- Autoroutes
- Routes secondaires
  
- En dessous de 500 m
- Au-dessus de 500 m
- Au-dessus de 1.000 m
- Au-dessus de 1.500 m
- Au-dessus de 2.000 m
  
- Général
- Par endroit
- Aux endroits exposés (à préciser selon liste ci-dessous)
  
- Ponts et viaducs
- Forêts et zones à l'ombre
- Endroits protégés du vent
- Endroits exposés au vent
- Entrées de tunnel
- Rampes de forte pente

5.11.3.2. Terminologie à utiliser pour l'état et la praticabilité des routes

5.11.3.2.1. Conditions météo / état de la route / dangers

- Libre de neige et de glace
- Recouverte de neige
- Recouverte de neige fondante
- Recouverte de neige verglacée
- Verglacée
- Congères
- Aquaplanage
- Brouillard
- Vent fort
- Rafales de vent
- Danger de dérapage sur route couverte de feuilles mortes
- Fortes chutes de neige
- Aucune information



#### 5.11.3.2.2. Praticabilité

- Normalement praticable
- Circulation ralentie (par brouillard, visibilité entre 200 m et 50 m; par vent fort, vitesse supérieure à 50 km/h)
- Circulation fortement perturbée (par brouillard, visibilité inférieure à 50 m)
- Chaînes obligatoires pour les poids lourds
- Chaînes obligatoires pour tout véhicule
- Fermé provisoirement pour les poids lourds, en précisant la cause (p. ex. avalanches, voie étroite) et la durée prévisible
- Fermé provisoirement pour tout véhicule, en précisant la cause (p. ex. danger ou chute d'avalanche) et la durée prévisible
- Fermé provisoirement pour les remorques et les caravanes
- Fermeture hivernale
- Fermé la nuit
- Circulation en convois uniquement

#### 5.11.4. RECOMMANDATIONS

La terminologie élaborée en matière d'informations de météorologie routière par COST 309 en sa qualité d'organisation compétente devrait être acceptée et appliquée dès que possible par tous les services et organisations compétents et intéressés.

La terminologie ainsi que la présente recommandation ont déjà été envoyées aux organismes suivants :

- Union européenne de radiodiffusion, Genève (17.05.1989)
- Centre européen d'information routière (CEIR), Genève (octobre 1988)
- Groupe de gestion de la matrice SHRP 87-H207, Seattle, E.-U. (11.09.1989)

#### Abréviations :

EBU/UER : European Broadcasting Union / Union européenne de radiodiffusion

CEIR : Centre européen d'information routière

5.11.3.1. TERMINOLOGIE A UTILISER POUR LES PREVISIONS DE L'ETAT DES ROUTES

5.11.3.1.1 Conditions météo/état de la route/dangers

- Libre de neige et de glace
- Recouverte de neige
- Recouverte de neige fondante
- Recouverte de neige verglacée
- Verglacée
- Congères
- Aquaplanage
- Brouillard
- Vent fort
- Fortes rafales
- Danger de dérapage sur route couverte de feuilles mortes
- Fortes chutes de neige

5.11.3.1.2 Localisation/description

- Routes très fréquentées
- Routes peu fréquentées
  
- Autoroutes
- Routes secondaires
  
- En dessous de 500 m
- Au-dessus de 500 m
- Au-dessus de 1.000 m
- Au-dessus de 1.500 m
- Au-dessus de 2.000 m
  
- Général
- Par endroit
- Aux endroits exposés (à préciser selon liste ci-dessous)
  
- Ponts et viaducs
- Forêts et zones à l'ombre
- Endroits protégés du vent
- Endroits exposés au vent
- Entrées de tunnel
- Rampes de forte pente

### 5.11.3.2 TERMINOLOGIE A UTILISER POUR L'ETAT ET LA PRATICABILITE DES ROUTES

#### 5.11.3.1.1 Conditions météo/état de la route/dangers

- Libre de neige et de glace
- Recouverte de neige
- Recouverte de neige fondante
- Recouverte de neige verglacée
- Verglacée
- Congères
- Aquaplanage
- Brouillard
- Vent fort
- Fortes rafales
- Danger de dérapage sur route couverte de feuilles mortes
- Fortes chutes de neige
- Aucune information

#### 5.11.3.2.2 Praticabilité

- Normalement praticable
  
- Circulation ralentie (par brouillard, visibilité entre 200 m et 50 m ; par vent fort, vitesse supérieure à 50 km/h)
  
- Circulation fortement perturbée (par brouillard, visibilité inférieure à 50 m)
  
- Chaînes obligatoires pour les poids lourds
  
- Chaînes obligatoires pour tout véhicule
  
- Fermé provisoirement pour les poids lourds, en précisant la cause (danger ou chute d'avalanche p. ex.) et la durée prévisible
  
- Fermé provisoirement pour tout véhicule, en précisant la cause (danger ou chute d'avalanche p. ex.) et la durée prévisible
  
- Fermeture hivernale
  
- Fermé la nuit
  
- Interdiction pour remorques et caravanes
  
- Circulation en convois

5.11.3.1 Terminologie für die Straßenzustandsprognosen

5.11.3.1.1 Wetterlage/Straßenzustand/Gefahren

- Frei von Schnee und Glatteis
- Schneebedeckt
- Schneematsch
- Schneeglätte
- Glatteis
- Schneeverwehungen
- Aquaplaning
- Nebel
- Starker Wind
- Starke Windböen
- Rutschgefahr auf laubbedeckten Straßen
- Starke Schneefälle

5.11.3.1.2 Lokalisierung

- Stark befahrene Straßen
- Wenig befahrene Straßen
  
- Autobahnen
- Nebenstraßen
  
- Unterhalb 500 m
- Oberhalb 500 m
- Oberhalb 1000 m
- Oberhalb 1500 m
- Oberhalb 2000 m
  
- Allgemein
- Streckenweise
- An exponierten Stellen (präzisieren gemäß nachfolgender Liste)
  - Brücken und Viadukte
  - Waldgebiete und schattige Zonen
  - Windgeschützte Stellen
  - Windexponierte Stellen
  - Tunnelleingänge
  - Rampen mit starkem Gefälle

### 5.11.3.2 Terminologie für den aktuellen Straßenzustand und die Befahrbarkeit

#### 5.11.3.2.1 Wetterlage/Straßenzustand/Gefahren

- Frei von Schnee und Glatteis
- Schneebedeckt
- Schneematsch
- Schneeglätte
- Glatteis
- Schneeverwehungen
- Aquaplaning
- Nebel
- Starker Wind
- Starke Windböen
- Rutschgefahr auf laubbedeckten Straßen
- Starke Schneefälle
- Keine Information

#### 5.11.3.2.2 Befahrbarkeit

- Normal befahrbar
- Verkehr behindert (durch Nebel, Sichtweite zwischen 200 m und 50 m ; durch Wind, Stärke über 50 km/h)
- Verkehr stark behindert (durch Nebel Sichtweite unter 50 m)
- Ketten obligatorisch für den Schwerverkehr
- Ketten obligatorisch für alle Fahrzeuge
- Vorübergehend gesperrt für den Schwerverkehr, mit Angabe des Grundes (z.B. Lawinniedergang, eingeeengte Fahrbahn usw) und der voraussichtlichen Dauer
- Vorübergehend gesperrt für alle Fahrzeuge, mit Angabe des Grundes (z.B. Lawinengefahr, Lawinniedergang usw) und der voraussichtlichen Dauer
- Vorübergehend gesperrt für Anhänger und Wohnwagen
- Wintersperre
- In der Nacht gesperrt
- Verkehr nur in Konvois

5.11.3.1 Tiesääennusteiden terminologia

5.11.3.1.1 Sääolosuhteet/Tieolosuhteet/Vaarat

- paljas tien pinta
- lunta
- sohjoa
- pakkautunutta lunta
- mustaa jäätä
- lumikinoksia
- vesiliirtoa
- sumua
- voimakasta tuulta
- puuskaista tulta
- putoavien lehtien aiheuttamaa liukkaita
- voimakasta lumisadetta

5.11.3.1.2 Paikka/Selitys

- runsasliikenteiset tiet
- vähäliikenteiset tiet
  
- päätiet
- sivutiet
  
- alle 500 m korkeudella
- yli 500 m korkeudella
- yli 1000 m korkeudella
- yli 1500 m korkeudella
- yli 2000 m korkeudella
  
- yleisesti
- paikoin
- seuraavat paikat
- sillat
- metsät ja varjoiset paikat
- tuulelta suojatut paikat
- tuulelle alttiit paikat
- tunnelien suut
- rinteet ja jyrkänteet

### 5.11.3.2 Tieolosuhteiden terminologia

#### 5.11.3.2.1 Sääolosuhteet/Tieolosuhteet/Vaarat

- paljas tien pinta
- lunta
- sohjoa
- pakkautunutta lunta
- mustaa jäätä
- lumikinoksia
- vesiliirtoa
- sumua
- voimakasta tuulta
- puuskaista tulta
- putoavien lehtien aiheuttamaa liukkautta
- voimakasta lumisadetta
- ei tietoa

#### 5.11.3.2.2 Liikennöitävyys

- normaalisti liikennöitävä
- liikekennehaitta (johtuen sumusta: näkyvyys 200 - 50 m; johtuen voimakkaasta tuulesta: nopeus yli 50 km/h)
- huomattava liikennehaitta (johtuen sumusta : näkyvyys alle 50 m)
- ketjut pakolliset raskaille ajoneuvoille
- ketjut pakolliset kaikille ajoneuvoille
- suljettu tilapäisesti raskailta ajoneuvoilta, eritelty syy (esim. lumivyöry, kapea kaista) sekä mahdollinen kesto
- suljettu tilapäisesti kaikilta ajoneuvoilta, eritelty syy (esim. lumivyöryvaara) sekä mahdollinen kesto
- suljettu tilapäisesti perävaunullisilta ajoneuvoilta
- suljettu talven ajaksi
- suljettu yöllä
- vain saattoliikennettä

5.11.3.1 Anvendt terminologi ved forudsigelse af vejtilstand

5.11.3.1.1 Meteorologiske forhold/vejtilstande/farer

- Fri af sne og is
- Dækket af sne
- Dækket af smeltende sne
- Dækket af frossent sne
- Dækket af isslag
- Snefygning
- Aquaplaning
- Tåge
- Stærk vind
- Vindstod
- Fare for udskridning i nedfaldsblade
- Kraftig snefald

5.11.3.1.2 Beliggenhed/beskrivelse

- Meget benyttet vej
- Mindre benyttet vej
  
- Motorveje
- Sekundære veje
  
- Under 500 m
- Over 500 m
- Over 1000 m
- Over 1500 m
- Over 2000 m
  
- Generelt
- På steder
- På udsatte steder (specifiseres nærmere efter ovenstående liste)
  
- Broer og viadukter
- Skove og skyggefulde steder
- Steder beskyttet mod vind
- Steder udsat for vind
- Indkørsler til tunneller
- Skråninger med stor hældning



### 5.11.3.2 Terminologi aendrt om vejens tilstand og fremkommelighed

#### 5.11.3.2.1 Meteorologiske forhold/vejtilstand/fare

- Fri for sne og is
- Dækket af sne
- Dækket af smeltende sne
- Dækket af frossent sne
- Dækket af isslag
- Snefygning
- Aquaplaning
- Tåge
- Stærk vind
- Vindstod
- Fare for udskridning i nedfaldsblade
- Kraftig snefald
- Ingen oplysninger

#### 5.11.3.2.2 Fremkommelighed

- Normalt fremkommelig
- Langsom trafik (som følge af tåge: sigtbarhed mellem 50 m og 200 m, som følge af stærk vind: vindhastighed over 50 km/t)
- Storre trafikhindringer (som følge af tåge: sigtbarhed mindre end 50 m)
- Kæder påbudt for tung trafik
- Kæder påbudt for al trafik
- Lukket midlertidigt for tung trafik, med oplysninger om årsag (sneskred, smal vognbane etc.) såvel som om forventet varighed
- Lukket midlertidigt for al trafik, med oplysninger om årsag (fare for snesked, sneskred) såvel som om forventet varighed
- Lukket midlertidigt for trailere og campingvogne
- Lukket i vinterperioden
- Lukket om natten
- Kun for trafik i konvojer

5.11.3.1 Terminology to be applied to the Forecast of Road conditions

5.11.3.1.1 Meteorological Conditions/Road Conditions/Dangers

- Fri fran snö och is (Bar)
- Täckt av snö (Snö)
- Täckt av snömodd (Moddig)
- Täckt av kall snö (Is)
- Täckt av is (Is)
- Snödrev
- Vattenplaning
- Dimma
- Starka vindar
- Vindbyar
- Risk för halka pa löv
- Kraftigt snöfall

5.11.3.1.2 Location/Description

- Högfrekventerade vägar
- Lagfrekventerade vägar
  
- Motorvägar
- Övrigavägar
  
- Under 500 m
- Over 500 m
- Over 1000 m
- Over 1500 m
- Over 2000 m
  
- Övergripande
- Pa plats
- Pa exponerade platser (to be specified according to list below)
- Broar och viadukter
- Skogar och skuggiga platser
- Vindskyddade platser
- Vindutsatta platser
- Tunnel infarter
- Backar med stark lutning

### 5.11.3.2 Terminology to be applied to the Conditions and Practicability of roads

#### 5.11.3.2.1 Meteorological Conditions/Road Conditions/Dangers

- Fri fran snö och is (Bar)
- Täckt av snö (Snö)
- Täckt av snömodd (Moddig)
- Täckt av kall snö (Is)
- Täckt av is (Is)
- Snödrev
- Vattenplaning
- Dimma
- Starka vindar
- Vindbyar
- Risk för halka pa löv
- Kraftigt snöfall Free of snow and ice
- Ingen information

#### 5.11.3.2.2 Practicability

- Normal framkomlighet
- Sänkt hastighet (pa grund av dimma: sikt mellan 200 m och 50 m;  
pa grund av kraftig vind: hastighet över 50 km/h)
- Stora trafikhinder (pa grund av dimma: sikt under 50 m)
- Obligatoriskt med kedjor för tunga fordon
- Obligatoriskt med kedjor för alla fordon
- Tillfälligt stängd för tunga fordon, med angivande av skäl (t ex lavinfara, smala körbanor) och varaktighet
- Tillfälligt stängd för alla fordon, med angivande av skäl (t ex fara eller lavinfara) och varaktighet
- Tillfälligt stängd för langtradare och husvagnar
- Stängd under vintern
- Stängd under natten
- Enbart konvoy körning

5.12. EFFETS DES FONDANTS

5.12.1. Remarques générales

Les effets des fondants sur la neige et la glace sont bien connus et, dans cet ordre d'idées, il est fait référence au RAPPORT que l'OCDE vient de publier /1/. Celui-ci décrit en détail l'état des connaissances et des techniques des méthodes d'entretien hivernal et de l'application de fondants. Dans la suite de notre propos, nous nous contenterons d'émettre des remarques supplémentaires sur certains points de ce sujet dans le cadre des objectifs du projet COST 309. Des experts de l'OCDE ont déclaré que, à l'heure actuelle, il est impossible d'abandonner l'épandage de sel sur les routes à grande circulation.

Les fondants suivants sont principalement connus :

<u>NaCl</u>		Composés de l'ammonium
<u>CaCl<sub>2</sub></u>	Phosphates	Substances alcooliques
<u>MgCl<sub>2</sub></u>	CMA	Urée industrielle

Seuls les deux premiers sont largement utilisés dans l'entretien hivernal des routes, car ce sont les deux seuls fondants à présenter une importance pratique. Le NaCl s'emploie jusqu'à des températures de -7 degrés centigrades environ et le CaCl<sub>2</sub> s'utilise au-delà de cette température, car il accélère la fusion. Malgré cela, les entreprises continuent de proposer des fondants très difficiles à évaluer par les services des ponts et chaussées. Grâce aux activités menées en vue du présent rapport, j'ai élaboré une méthode d'évaluation préliminaire qui a été appliquée dans le passé /2/ et qui figure en annexe (annexe A).

Fondamentalement, les fondants abaissent le point de gelée de l'eau en fonction de leur concentration dans la solution. Les effets des fondants à la surface de la route dépendent :

- o de la vitesse de dissolution
- o de la capacité de fusion spécifique (abaissement du point de gelée)
- o de la quantité appliquée
- o des conditions météorologiques (température, humidité de l'atmosphère).

La vitesse de fusion dépend de la différence de température entre le point d'eutexie (température de fusion à laquelle une solution se solidifie de façon homogène) et la température réelle. Bien que, à la base, des fondants solides fassent fondre la glace jusqu'au point d'eutexie, ils ne s'appliquent que dans la plage supérieure, au mieux jusqu'à 50 pour cent de leur plage d'efficacité,

en raison de leur vitesse de fusion effective. Le volume de sel à appliquer est nettement inférieur au volume qui est théoriquement nécessaire pour faire fondre toute la quantité de glace ou de neige. Toutefois, de faibles volumes de sel suffisent déjà pour provoquer une fusion partielle. La couche de neige ou de glace dont l'adhérence est détruite peut être éliminée mécaniquement. La circulation provoque un mélange essentiel de la solution saline et de la glace qui accroît considérablement l'effet. Il semble que le surcroît de chaleur provenant des véhicules, qui n'a pas encore été entièrement analysé, présente aussi une influence positive.

Depuis quelques années, les services des ponts et chaussées réalisent un vaste travail de recherche pour des raisons écologiques et économiques en vue de réduire la consommation de sel.

A l'heure actuelle, un volume de 40 grammes environ par mètre carré et par épandage peut être considéré comme la limite maximale. Les équipements d'épandage routier modernes permettent de contrôler avec précision le volume à épandre (5 à 40 grammes par mètre carré).

Une limite inférieure du volume de sel nécessaire dépend, d'une part, de la sécurité souhaitée contre la formation de verglas sur les routes (température de congélation) et, d'autre part, de l'effet sur la surface. Comme, vu la structure granulaire du sel, un effet positif ne peut pas être obtenu à la surface en présence d'un très faible volume (p. ex. moins de 5 grammes par mètre carré), des fondants liquides seraient préférables dans ces conditions. En raison de leur meilleure répartition, les fondants liquides se répandent plus rapidement sur la route en formant un film liquide et la fusion est nettement accélérée, en particulier en présence de fines couches de glace et à des températures supérieures à -3 degrés centigrades. Il s'agit d'un avantage certain pour une utilisation préventive et des températures supérieures à -4 degrés centigrades. Vu la dilution rapide des solutions, la pluie présente toutefois un inconvénient. A des températures inférieures, des fondants solides agiront néanmoins plus vite grâce à la formation de solutions saturées.

L'application d'eau salée présente les principaux inconvénients suivants :

- o la quantité d'eau nécessaire pour produire l'eau salée doit aussi être protégée du gel des routes; un volume de sel supplémentaire est donc nécessaire;
- o une grande capacité de transport est liée à ce volume d'eau;
- o deux types d'appareils et d'équipements (chacun destiné à l'application de fondants humides et liquides) devront être achetés en fonction du climat.

Vu les inconvénients des fondants liquides susmentionnés, la plupart des services des ponts et chaussées adoptent l'épandage de sel humide en diverses concentrations.

## 5.12.2. L'EFFICACITE DES FONDANTS DANS DIVERSES CONDITIONS ATMOSPHERIQUES

### 5.12.2.1. Efficacité avec un condensat (sublimé) sur la chaussée

La condensation (sublimation) qu'entraîne sur la chaussée une baisse de la température de l'air ou une explosion d'air chaud constitue un phénomène météorologique particulièrement dangereux pour l'automobiliste. Comme le montre la partie 5.8., point 2, les dépenses consacrées à l'entretien hivernal de ces situations - absence de précipitation atmosphérique et de pluies accompagnées de neige ou de chutes de neige - sont relativement élevées de sorte qu'il sera intéressant d'approfondir ce sujet. Malheureusement, rares sont les analyses météorologiques qui tiennent compte des propriétés spécifiques de la surface de la route. Si une condensation se forme sur une route lorsque la température de la chaussée dépasse 0 degré centigrade, le condensat présent sous forme de gouttelettes est appelé rosée. Si cette rosée ou la surface de la route continue de se refroidir, la rosée gèle et une glace homogène, transparente et très dangereuse - comparable à de la glace nue - recouvre la chaussée.

Contrairement à la glace, le sublimé en forme de cristaux de glace se transforme en givre lorsque la température de la chaussée est inférieure à zéro degré centigrade. Cette glace présente une structure cristalline et, dans un premier temps, n'est pas aussi dangereuse que la rosée gelée. L'expérience nous montre que, en raison de la circulation, le givre devient très rapidement aussi blanc que la rosée gelée. Dans plusieurs pays, les services responsables des bulletins météorologiques enregistrent le nombre de jours de rosée ou de givre par an. Il va de soi que les diverses régions représentées dans des cartes (fig. 1) peuvent présenter des différences considérables en fonction du microclimat. Aucune mesure n'est connue pour la rosée présente à la surface de la route.

Un équilibre de rayonnement négatif (refroidissement) constitue une condition préalable à la formation de rosée et de givre. Sur 24 heures, les valeurs les plus négatives de l'équilibre de rayonnement seront toujours relevées entre le coucher et le lever du soleil. Par conséquent, une forte rosée ne se produira que par des nuits sans ou presque sans nuages et l'influence du vent sera déterminante; sur une route, les volumes de rosée peuvent varier en fonction de facteurs microclimatiques. De par sa soudaineté, cette situation est particulièrement dangereuse pour l'automobiliste.

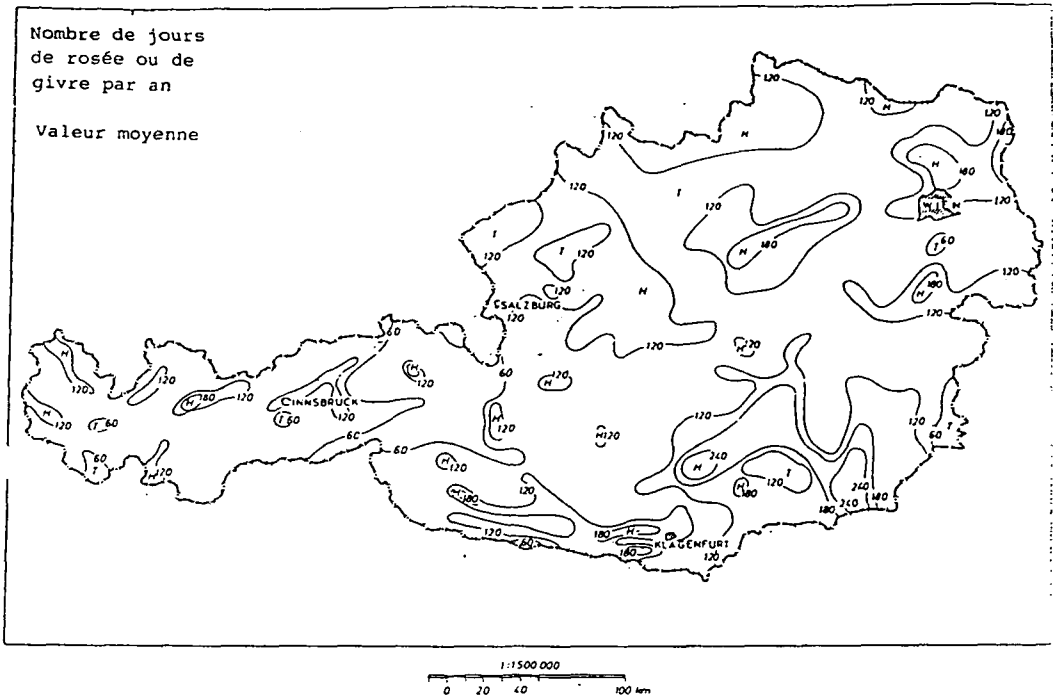


Fig. 1 Nombre de jours de rosée ou de givre par an en Autriche /3/

Par rapport aux précipitations atmosphériques, aux pluies accompagnées de neige ou à la neige, la condensation ou la sublimation est un processus relativement lent de sorte que, si des critères de formation sont connus ou observés, des opérations préventives d'entretien hivernal pourront être organisées à temps. Dès lors, il va de soi que l'apparition de rosée, ou de givre exprimé en volume d'eau, est très importante pour sélectionner la quantité de fondant requise en vue de l'entretien hivernal.

Le bilan thermique de la route et l'influence du vent doivent servir de base à une détection théorique relativement satisfaisante des volumes présents. Des facteurs essentiels sont la rugosité de la chaussée et l'intensité de la circulation. C'est pourquoi une route en pavés polis par la circulation est particulièrement exposée. Aucun essai approprié n'est connu sur l'influence de la rugosité de la chaussée et de la circulation. Une évaluation théorique simplifiée du volume de rosée maximum selon le diagramme psychrométrique ci-dessous fournit les valeurs suivantes :

Humidité relative de l'atmosphère égale à 100 pour cent	Volume de rosée (grammes par mètre carré/heure) à la suite d'un refroidissement de la température de l'air de +10 degrés centigrades à -3 degrés centigrades	Période de temps supposée - 14 heures - Volume de rosée (grammes par mètre carré)	NaCl nécessaire jusqu'à -3 degrés centigrades (grammes par mètre carré) (5,1 pour cent)
	4,2	58,8	3,0

Tableau 1 : volumes de rosée déterminés à partir du diagramme psychrométrique

Les valeurs ci-dessus reposent sur l'hypothèse des paramètres suivants : humidité de l'atmosphère à 100 pour cent, période de temps plus longue de 14 heures, aucun flux de chaleur du sous-sol pris en considération et rugosité de la chaussée. Elles peuvent être considérées comme la limite supérieure absolue de situations pouvant survenir en automne dans des zones climatiques tempérées.

Toutefois, même des essais relatifs à des explosions d'air chaud extrêmes sur une route en béton pendant la période hivernale la plus froide (augmentation supposée de la température de l'air égale à 24 degrés centigrades en moins de 14 heures) qui reposent sur un calcul de bilan thermique et une vitesse du vent de 2 mètres par seconde entraînent - avec une température initiale de la chaussée et de l'air de -20 degrés centigrades - un volume initial de rosée de 19 grammes par mètre carré /4/. Comme la température augmentera jusqu'à -10 degrés centigrades environ au cours des dix premières heures, ce qui ne se traduira que par un volume de rosée de 8 grammes par mètre carré (couche d'eau de 0,01 millimètre) -, un épandage préventif ne pourrait s'avérer nécessaire qu'à ce moment. Dans la suite, le résultat théorique obtenu à la fin de la période de 14 heures s'élèvera à 1,4 gramme de sel fondant (7 pour cent de NaCl) par mètre carré pour un volume de rosée de 19 grammes par mètre carré ou une température réelle de la chaussée de -4 degrés centigrades; l'épandage d'une très faible quantité de sel (3 à 5 grammes par mètre carré) suffira dès lors largement dans la réalité si des précipitations atmosphériques, des pluies accompagnées de neige ou des chutes de neige peuvent être exclues.



Les exemples susmentionnés montrent que, habituellement, de très faibles quantités de fondants sont nécessaires pour combattre une glissance des routes due à la rosée et que, pour cette raison, il peut être avantageux d'ajouter de l'eau salée à l'épandage de sel humide traditionnel dans des zones climatiques tempérées, particulièrement en automne et au printemps lorsque la température avoisine zéro degré centigrade. Vu la demande croissante de réduction de l'application de fondants, il se peut dès lors que, à l'avenir, l'ajout de fondants liquides à l'épandage de sel humide occupe surtout une place prépondérante dans les zones urbaines.

A cet égard, il importera toutefois d'informer avec une précision et une fiabilité maximales le personnel d'entretien des routes de la situation météorologique et du microclimat de l'itinéraire.

#### 15.12.2.2. Efficacité sous la pluie

La situation devient très critique si la pluie tombe sur des routes surrefroidies ou si des gouttes d'eau surrefroidies tombent sur la chaussée (glace nue). En tout état de cause, la chaleur de la précipitation ne suffit habituellement pas pour réchauffer rapidement la surface de la route et prévenir la formation de glace. Dans pareilles situations, la glace nue peut atteindre une épaisseur excluant l'application efficace de fondants. Dans un premier temps, seuls des agents abrasifs s'avéreront utiles.

Ces phénomènes surviennent plutôt rarement sous une forme aussi extrême, mais il convient de savoir à partir de quel "phénomène pluvieux" un épandage de sel s'impose. Toutefois, il est impossible de prendre pour base une certaine intensité de la pluie, car celle-ci varie en fonction du lieu et du moment; de plus, presque aucun équipement de mesure n'est conçu à cette fin dans le cadre de l'entretien hivernal des routes. Comme l'ont montré les études /5/, une couche d'eau supérieure à 1 millimètre d'épaisseur est relativement exceptionnelle, même en été. Si nous partons par exemple de l'hypothèse réaliste d'une couche d'eau d'environ 0,5 millimètre d'épaisseur, une quantité de 20 grammes au moins de NaCl par mètre carré devrait être épandue, conformément aux calculs reposant sur le diagramme d'équilibre, pour garantir une protection jusqu'à -2 degrés centigrades. Selon l'intensité de la pluie et l'influence de la circulation, une dilution pourrait rapidement intervenir de manière à exclure tout risque de fusion. Toutefois, cet exemple prouve qu'il est presque impossible d'appliquer du sel en présence de pluies.

Cependant, des pluies peu intenses sont particulièrement importantes pour les asphaltes de drainage de plus en plus utilisés dans un passé récent. Vu la forte proportion d'espaces creux (environ 20 pour cent) qui est requise pour obtenir un niveau élevé d'adhérence sous la pluie et de réduction des bruits,

le sel résiduel, mais aussi le sel qui vient d'être épandu, s'écoulent très rapidement dans les pores et rendent la fusion inefficace à la surface de la route. De plus, il s'est avéré que, en raison de leur forte proportion d'espaces creux et du faible coefficient de conductibilité thermique (effet d'isolation) inhérent, les asphaltes de drainage peuvent guider un volume de chaleur inférieur du sous-sol vers la surface de la route par nuit claire et calme; dans les mêmes conditions, ils peuvent dès lors présenter une température jusqu'à 3 degrés centigrades inférieure à la température d'une route en béton.

L'expérience acquise par divers services des ponts et chaussées sur la nécessité indiscutable d'augmenter le volume de sel épandu sur les routes recouvertes d'asphalte de drainage diffère totalement. La raison peut résider en ce que les hivers sont différents et les conditions difficilement comparables. Toutefois, il faut aussi savoir que l'évaluation du personnel d'entretien des routes est subjective et que des méthodes d'évaluation objective sont encore inexistantes. Les résultats du travail de recherche du SHRP sur l'amélioration de la surface de la route (non-adhérence de la glace) /6/ pourraient faire considérablement progresser l'application efficace du sel sur des asphaltes de drainage.

#### 5.12.2.3. Efficacité dans la neige

L'épandage de sel en présence de chutes de neige varie fortement dans les divers pays en fonction de la zone climatique, des températures et des situations qui en découlent. Il est primordial d'éliminer la neige avant d'épandre le sel car, si le sel est appliqué parcimonieusement, son effet de fusion ne suffira pas pour faire fondre toute la neige. En partant du principe qu'une couche d'eau de 0,1 millimètre d'épaisseur correspond à une couche de glace de 0,09 millimètre ou à une couche de neige poudreuse, poreuse et ferme de 0,9 millimètre environ et en supposant une couche de 9 centimètres de neige poudreuse ferme à une température de -2 degrés centigrades, il faudrait approximativement appliquer 40 grammes de NaCl par mètre carré.

En Europe Centrale, une quantité de sel pouvant atteindre 15 grammes par mètre carré est souvent appliquée, pour des raisons préventives, sur la surface de la route au début d'une chute de neige en vue d'éviter que la circulation ne provoque une adhérence de la neige sur la chaussée. L'épandage crée une fine surface glissante qui convient particulièrement pour le déneigement. Le sel peut difficilement éliminer une couche de neige que la circulation a rendu adhérente.

Dès lors, les services des ponts et chaussées préfèrent le déneigement à l'épandage de sel. Cette opération est facilitée par les nouveaux types d'équipements tels que les convoyeurs à bande.

Il importera de posséder des prévisions météorologiques nettement plus précises sur la quantité de neige à attendre, de connaître l'heure de début d'une chute de neige ainsi que les températures escomptées dans un avenir proche pour décider de l'épandage de sel. Une coopération optimale entre les météorologistes et les services des ponts et chaussées permettra de plus grandes économies de sel. En République fédérale d'Allemagne, un appareil appelé "pulvérisateur de fondant" accélère l'épandage de fondants en présence de chutes de neige. Il s'utilise sur une route de montagne pour éviter que, vu la circulation intense sur cette route à deux voies, la couche de neige n'adhère à la chaussée avant l'arrivée des véhicules d'entretien hivernal. Dans le passé, la neige verglacée bloquait parfois totalement la circulation et empêchait l'intervention des véhicules d'entretien hivernal.

Si des équipements de ce type offrent indubitablement des avantages dans des situations extrêmes, il convient de citer les inconvénients tels que le coût élevé et la mise en exploitation par rapport à un système d'avertissement de glace traditionnel. Après avoir étudié les rapports sur l'expérimentation pratique de ces appareils /7/, il semble que la fiabilité de ces systèmes en matière d'erreurs d'avertissement de glace ne soit pas encore absolue, ce qui nécessite encore à l'heure actuelle un vaste recours aux agents de pulvérisation.

Pour accroître la sécurité routière, il sera intéressant, dans ces conditions, de pouvoir atteindre des coefficients de résistance au dérapage de 0,4 - ce qui représente des valeurs relativement positives -, y compris /8/ sur une route recouverte d'une couche de neige fraîche et molle pouvant atteindre 15 centimètres.

Plus la neige est tassée, plus les coefficients de résistance au dérapage correspondent aux coefficients de résistance au dérapage sur surface glissante. En cas de refroidissement, le coefficient de résistance au dérapage d'une couche de neige passe p. ex. de 0,15 à 0 degré centigrade à 0,45 à -25 degrés centigrades /9/.

Lors de l'épandage de sel, la couche de neige qui adhère à la surface de la route en raison de la circulation pose un problème. Au début de la fusion, la couche de neige devient humide et peut abaisser les coefficients de résistance au dérapage jusqu'à 0,1. Si la couche de neige adhérente se transforme en neige fondante, les coefficients seront beaucoup plus satisfaisants que ceux de la couche de neige adhérente.

#### 5.12.2.4. Efficacité sur la glace

A la base, des couches de glace plus épaisses (supérieures à 1,0 millimètre) ne peuvent être éliminées que très difficilement avec des fondants, et ce au prix de grandes quantités de sel et d'une dépense de temps considérable. Selon les estimations, environ 40 grammes de NaCl par mètre carré seront théoriquement nécessaires si la couche de glace ne présente qu'une épaisseur de 1,0 millimètre à une température de -2 degrés centigrades. Une quantité nettement inférieure de fondant suffira pour détruire la force d'adhérence.

#### 5.12.3. REDUCTION DES DEPENSES EN SEL GRACE AUX DONNEES METEOROLOGIQUES

Comme l'ont montré les activités de recherche /10/ (voir aussi la partie 5.8., point 2), les dépenses des services d'entretien hivernal qui sont consacrées au sel pour la plage de températures avoisinant 0 degré centigrade (+2 à -2 degrés centigrades) dans des zones climatiques d'Europe Centrale interviennent pour près de 67 pour cent dans le total - à l'exclusion des "phénomènes météorologiques" spéciaux tels que la neige, la pluie et le crachin. En l'absence de données, nous ne pouvons affirmer que cette situation vaut également pour les zones climatiques septentrionales.

Avec des sels fondants ou des fondants de remplacement, il ne faut pas espérer réaliser à l'avenir des économies substantielles d'agents d'épandage par une rationalisation ou des mesures liées aux équipements (p. ex. amélioration des installations de dosage et d'épandage).

En revanche, il est certain dans les situations susmentionnées que les dépenses en sel peuvent être considérablement réduites en tenant compte des données météorologiques. Comme le montre le travail de recherche décrit dans les chapitres précédents, les données météorologiques ne peuvent être préparées pour les services des ponts et chaussées que via un système de réseau très complexe. Pour ce faire, il faudra non seulement utiliser des données météorologiques en ligne, mais aussi recourir à des prévisions sur courte et très courte période de l'état des routes attendu. Les économies de sel dépendront néanmoins surtout de la qualité de ces modèles prévisionnels et météorologiques et de la fiabilité des informations proposées au personnel d'entretien des routes.

A l'heure actuelle, les systèmes d'avertissement de glace du commerce ne peuvent fournir qu'un état localisé de la route. Pour des raisons économiques, il sera certainement impossible d'intensifier arbitrairement le réseau de stations extérieures. Par exemple, la distance pourra difficilement tomber sous les 7 à 20 kilomètres. Les conditions météorologiques d'une route ne pourront de toute manière être évaluées qu'avec des modèles météorologiques formant un système complet tel que décrit dans les chapitres précédents. La

"cartographie thermique" (point 5.2.) dont le but est de connaître les tendances de températures caractéristiques d'un itinéraire constitue une première étape de la couverture climatologique routière. Les nouvelles études des influences microclimatiques (ombres dues à des irrégularités topographiques et à des arbres, apport d'air froid par des régions boisées et des vallées, données supplémentaires sur l'intensité de la circulation) devront être intégrées dans les calculs. Il conviendra aussi de connaître la distribution des températures de surface sur la largeur de la route. Pour évaluer une situation microclimatique actuelle avec exactitude, ces paramètres caractéristiques devront être intégrés dans le modèle météorologique des conditions météorologiques générales existantes (aussi appelées situation météorologique).

Enfin, il semble très difficile de définir la salinité résiduelle de la route sur une portion d'itinéraire bien qu'il ne s'agisse pas d'un problème météorologique. Vu les différences de charge de circulation, de "pentes" horizontales et verticales de la route et de conditions météorologiques (pluie, vent), il est impossible de compter sur une distribution uniforme du volume de sel résiduel présent sur un itinéraire. Un problème supplémentaire réside en ce que les capteurs actuellement utilisés dans tous les systèmes d'avertissement de glace ne sont capables de déterminer la salinité résiduelle que si la surface est humide et non sèche. Par conséquent, la salinité résiduelle ne peut actuellement être détectée que lors de précipitations atmosphériques ou de pluies accompagnées de neige.

Toutefois, pour pouvoir intégrer la variation des conditions météorologiques générales, il convient d'utiliser des modèles LAM comprenant des images de radars et satellites météorologiques (conformément aux points 5.4. et 5.5.). Un système d'information de météorologie routière complet présuppose un réseau reliant les divers ordinateurs locaux aux services météorologiques. Certaines activités (calculs de modèles) seront exécutées par les ordinateurs. Toutefois, les météorologistes décideront s'il faut inclure les images des radars et satellites météorologiques. Pour réaliser des économies à court terme, il faudrait d'abord envisager, en plus des données météorologiques en ligne, des prévisions sur très courte période (1 à 3 heures) de l'évolution de la température du sol, de l'air et du point de rosée ainsi que, si possible, des précipitations atmosphériques. Cette période suffira pour un épandage de sel prophylactique. Des prévisions sur 12 heures se justifieront comme étape suivante, sans bien sûr oublier qu'elles n'autorisent pas la même précision que les prévisions à court terme susmentionnées.

#### 5.12.4. CONCLUSIONS FINALES ET RECOMMANDATIONS

Au vu du rapport complet de l'OCDE "REDUCTION DE L'APPLICATION DE FONDANTS DANS LE CADRE DE L'ENTRETIEN HIVERNAL", la présente partie n'a abordé que certains points spécifiques dans le cadre des objectifs du projet COST 309. Nous corroborons en particulier l'opinion des experts de l'OCDE selon lesquels il est actuellement impossible de ne pas recourir au sel pour les routes à grande circulation.

Vu l'absence actuelle de fondants de remplacement applicables sur une grande échelle dans le cadre de l'entretien des routes - compte tenu de tous les aspects techniques et économiques -, nous ne pouvons espérer remplacer le NaCl ( $\text{CaCl}_2$ ) dans un avenir proche.

Hormis les propriétés spécifiques du fondant utilisé, l'efficacité et l'application économique dépendent essentiellement de la stratégie d'application. Dans la mesure du possible, cette stratégie tient compte de paramètres météorologiques et des conditions réelles de circulation routière. De plus, l'expérience acquise par les personnels d'entretien des routes et leur avis sur la situation actuelle et à venir présentent une importance primordiale.

Des économies de fondants - nécessaires d'un point de vue économique et écologique - pourraient être envisagées si des informations plus précises et fiables sur les conditions microclimatiques réelles ou attendues de l'itinéraire et sur les fondants requis pour ces conditions étaient disponibles.

Nous recommandons dès lors :

- o d'étendre considérablement les systèmes d'information de météorologie routière par des modèles météorologiques appropriés qui, en plus de paramètres météorologiques et climatiques, tiendront aussi compte de l'expérience acquise en matière d'application de fondants;
- o d'examiner les cas d'application particuliers dans lesquels l'utilisation des fondants requis peut être minimisée au profit de fondants liquides.

## References

- (1) OECD, Curtailing Usage of De-icing Agents in Winter Maintenance, Paris 1989
- (2) STANLEY A. ET AL. Alternative Highway Deicing Chemicals Snow Removal and Ice Control Research, TRB Special Report 175, Washington 1979
- (3) CEHAK K. Die Zahl der Tage mit Tau und Reif in Österreich, Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Heft 23, Wien 1977
- (4) KRAUS H. Die Entwicklung von Straßenglätte durch gefrorenen Tau, Reif und Beschlag, wissenschaftl. Mitteilung Nr. 9, Universität München 1964
- (5) SCHARSCHING H. Witterungsbedingungen - Verkehrsverhalten - Verkehrssteuerung, Straßenforschung Heft 363, Seite 117, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten Wien 1988
- (6) SHRP, Strategic Highway Research Programm, Contracts SHRP H 201, H 202, H 203, H 204, H 205 National Highway Research Programm, Washington DC,
- (7) BREITENSTEIN J., MORITZ, Wirksamkeit von Taumittelsprühanlagen, Zwischenbericht, BAST, Bergisch Gladbach 1988
- (8) HODGES, HC. The Role of Tread Design - Skid Resistance under Winter Driving Conditions, HRR Record 447, S. 39, 1973
- (9) ELLINGHAUS D. Wetter u. Autofahren, Seite 109, Uniroyal Verkehrsuntersuchung IFAPLAN, KÖLN 1983
- (10) FELKEL H Bewertung von Kurzzeitstraßen- Wetterprognosen, Straßenforschung, FV 3025, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien 1990

## 6. CONCLUSIONS

Le Comité de gestion ne classe pas les capteurs ou les systèmes de mesure, mais propose uniquement une description détaillée des divers équipements de contrôle des conditions de météorologie routière.

L'applicabilité du système dépend largement de la climature, de la pratique et des ambitions de l'entretien hivernal, des fonds disponibles et de nombreux autres facteurs.

Nous recommandons d'intégrer à l'avenir l'essai et l'étalonnage des capteurs de météorologie routière et des systèmes de mesure dans les activités normales de la CIMO (Commission pour les instruments et les méthodes d'observation) dans le cadre de l'OMM (Organisation météorologique mondiale). Toutefois, les essais devraient être exécutés sur des portions de route en étroite collaboration avec les services des ponts et chaussées.

Les systèmes modernes de détection et de prévision de glace devraient former la base d'une stratégie d'entretien hivernal intégrée. Hormis des instruments précis et fiables, de bonnes données de prévision constituent un élément essentiel des systèmes complets.

Il est recommandé de poursuivre les recherches en matière d'établissement d'un protocole de transmission de données commun entre les centres de prévision et les systèmes des services locaux.

En dépit des nombreuses difficultés entravant l'application des données météorologiques aux services de météorologie routière, nous disposons déjà d'un savoir-faire météorologique et technique suffisant pour pouvoir consacrer ces données à l'approvisionnement et à l'amélioration de ces services. Un des facteurs-clés de la fourniture de prévisions de précipitations atmosphériques à court terme réside dans l'emploi du radar, que ce soit individuellement ou en réseau opérationnel. En tout état de cause, les images radar en tant que telles ne constituent pas à elles seules des informations suffisantes pour les services des ponts et chaussées. Le service météorologique traditionnel demeure donc incontournable.

La recherche devrait également se poursuivre dans tous les aspects des systèmes de météorologie routière et en particulier dans les techniques de prévision à court terme et la prévision des conditions de circulation routière.

Les calculs du présent rapport illustrant les liens entre un indice hivernal et les activités d'entretien/la consommation de sel reposent sur les observations effectuées au cours des hivers très doux 1987-1990. Il convient dès lors d'enregistrer un plus grand nombre d'hivers pour évaluer la valeur pratique de l'atlas météorologique proposé.



Nous recommandons une pratique d'enregistrement normalisée pour les accidents de la circulation et les conditions météorologiques/l'état de la surface des routes.

En dépit de frais d'installation relativement élevés, la mise en oeuvre d'un système de météorologie routière portera rapidement ses fruits en améliorant la sécurité, en garantissant des économies de coûts à long terme, en optimisant la réaction face à des situations météorologiques critiques et en minimisant les dommages causés à l'environnement. Les données d'archive provenant des sites des capteurs peuvent aussi apporter des informations précieuses pour planifier les stratégies à plus long terme.

Nous recommandons que le calcul des avantages du système de météorologie routière tienne aussi compte, en plus des avantages directs pour l'entretien, des avantages engendrés pour les coûts de circulation.

Nous recommandons une coopération plus vaste et plus complète entre les météorologistes et les services d'entretien des routes. Il est particulièrement essentiel d'assurer une formation, d'une part, du personnel des services des ponts et chaussées en météorologie et, d'autre part, des météorologistes en entretien des routes.

Il n'est pas nécessaire d'harmoniser les protocoles pour les systèmes de météorologie routière automatiques existant en Europe. Les fabricants doivent simplement connaître les protocoles utilisés dans les autres pays. Toutefois, il devrait être possible d'éviter cette situation pour les nouveaux protocoles qui seront certainement mis au point. Une nouvelle norme commune sera donc possible et souhaitable en 1992-1993.

Il convient de permettre une consultation internationale des données de météorologie routière au niveau des centres de collecte de données.

La mise en oeuvre d'un système européen d'échange des prévisions de météorologie routière requiert manifestement une coopération européenne.

Nous devrions viser à uniformiser à l'échelle européenne la terminologie décrivant l'état et la praticabilité des routes.

La terminologie relative aux informations météorologiques devrait être acceptée et appliquée par tous les services et organisations concernés et intéressés.

La présence d'informations plus précises et fiables sur les conditions de météorologie routière permettrait des économies de fondants.

Nous recommandons dès lors, d'une part, d'étendre considérablement les systèmes d'information de météorologie routière en ajoutant des modèles météorologiques appropriés qui tiendront compte de l'expérience acquise en matière de fondants et, d'autre part, d'examiner les cas d'application particuliers dans lesquels l'utilisation des fondants requis peut être minimisée au profit de fondants liquides.

Communautés européennes – Commission

**EUR 13847 – Cost 309 – Météorologie routière**

*F. Fabre et A. Klose*

Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes

1992 – XI, 148 p., fig., tab., ill. – 16,2 × 22,9 cm

Série : Recherche - Transport

ISBN 92-826-3245-8

Prix au Luxembourg, TVA exclue : ECU 12,50

Les gestionnaires de la route disposent d'un nombre croissant d'outils perfectionnés, qui font appel à plusieurs sortes de techniques de pointe. Ils peuvent ainsi, en utilisant à la fois les techniques de prévision météorologique et les systèmes de contrôle modernes des facteurs environnementaux, avoir recours aux équipements et aux modèles de gestion les plus performants.

L'action Cost 309 a trait aux domaines de la météorologie routière et de la gestion hivernale des routes, notamment au niveau des autorités routières locales, et s'appuie sur les compétences des météorologistes, des ingénieurs des routes et des fabricants d'équipements.

L'action a eu pour objectifs :

- l'exploration des méthodes les plus efficaces de détection, de prévision et de cartographie en matière de risques météorologiques ainsi que la définition d'actions pour les améliorer;
- l'évaluation des coûts et des avantages de ces méthodes et de ces actions;
- la présentation de recommandations pour des recherches à entreprendre en commun et pour des normes opérationnelles au niveau européen.

