

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation / Bundesamt für Strassen

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication / Office fédéral des routes

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni / Ufficio federale delle strade

# **Critères d'opportunité et de choix des installations automatiques de déverglaçage**

**Zweckmässigkeits- und Auswahlkriterien für automatische Taumittelsprühanlagen**

**Opportunity and choice criteria for automatic thawing agent spraying systems**

**École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)**

**Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)**

A.-G. Dumont, Professeur

D. Baumann, ing. dipl. EPF

Mandat de recherche 2001/602 sur proposition de l'Union suisse des professionnels de la route (VSS)

Février 2005

## Table des matières

<b>RESUME</b> .....	<b>III</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
1.1 Situation .....	1
1.2 Problématique .....	1
1.3 Objectifs de la recherche .....	2
<b>2 DEMARCHE DE LA RECHERCHE</b> .....	<b>3</b>
2.1 Etat des connaissances .....	3
2.2 Mode de fonctionnement et inventaire des IAD existantes.....	3
2.3 Evaluation de l'opportunité et de l'efficience de ces IAD .....	3
2.4 Elaboration d'une liste de critères jouant un rôle dans la justification de la mise en place d'une IAD .....	4
2.5 Proposition d'une méthode d'analyse.....	4
<b>3 ETAT DES CONNAISSANCES</b> .....	<b>5</b>
3.1 Service hivernal en général .....	5
3.2 Installations automatiques de déverglaçage .....	5
3.3 Méthodes de choix.....	7
<b>4 DESCRIPTION D'UNE IAD</b> .....	<b>8</b>
4.1 Fonctions principales .....	8
4.2 Composants .....	9
4.2.1 <i>Le système de détection de verglas</i> .....	9
4.2.2 <i>Le système d'opération électronique</i> .....	10
4.2.3 <i>Le système hydraulique</i> .....	11
4.2.4 <i>Evolution des unités de giclage</i> .....	12
4.2.5 <i>Exploitation</i> .....	13
<b>5 INVENTAIRE DES INSTALLATIONS EXISTANTES</b> .....	<b>15</b>
5.1 Liste d'installations par pays .....	15
5.2 Présentation de quelques installations caractéristiques .....	16
5.2.1 <i>Aigues-Vertes</i> .....	16
5.2.2 <i>Contournement de Lausanne</i> .....	16
5.2.3 <i>Flamatt</i> .....	17
5.2.4 <i>Lüdenscheid</i> .....	17
5.2.5 <i>Bielefelder Berg</i> .....	18
5.2.6 <i>I-35W Minneapolis</i> .....	18

<b>6</b>	<b>EVALUATION DES INSTALLATIONS AUTOMATIQUES DE DEVERGLAÇAGE .....</b>	<b>20</b>
6.1	Etudes de rentabilité .....	20
6.2	Justification de la rentabilité appliquée lors du projet .....	20
6.2.1	<i>Introduction</i> .....	20
6.2.2	<i>Exemples</i> .....	21
<b>7</b>	<b>CRITERES POUR LA MISE EN PLACE D'UNE INSTALLATION AUTOMATIQUE DE DEVERGLAÇAGE.....</b>	<b>24</b>
7.1	Introduction.....	24
7.2	Questionnaire .....	24
7.3	Inventaire des critères généralement retenus .....	25
7.3.1	<i>Critères économiques</i> .....	25
7.3.2	<i>Critères non-monétaires</i> .....	27
7.4	Critères NISTRA.....	28
7.4.1	<i>Les indicateurs dans le détail</i> .....	29
<b>8</b>	<b>METHODE D'ANALYSE PROPOSEE .....</b>	<b>32</b>
8.1	Présentation de la méthode d'analyse .....	32
8.2	Examen d'opportunité du projet .....	33
8.2.1	<i>Généralités</i> .....	33
8.2.2	<i>Critères d'opportunité proposés</i> .....	33
8.2.3	<i>Application de la méthode proposée</i> .....	45
8.2.4	<i>Propositions</i> .....	48
8.3	Choix de variantes .....	49
8.3.1	<i>Famille de critères</i> .....	50
8.3.2	<i>Critères de choix proposés</i> .....	51
8.3.3	<i>Pondération des critères</i> .....	57
8.3.4	<i>Exemple d'application – A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projet)</i> .....	57
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>64</b>
<b>11</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>66</b>
11.1	Inventaire des installations existantes.....	66
11.2	Visite d'installations automatiques de déverglaçage en Allemagne.....	71
11.3	Questionnaire .....	76
11.3.1	<i>Questions</i> .....	76
11.3.2	<i>Réponses</i> .....	79
11.4	Critères NISTRA [16].....	80
11.4.1	<i>Dimension sociale</i> .....	80
11.4.2	<i>Dimension économique</i> .....	81
11.4.3	<i>Dimension environnementale</i> .....	82

## Résumé

Depuis 25 ans environ, des installations automatiques de déverglaçage (IAD) sont utilisées pour soutenir le service hivernal. Ces systèmes peuvent intervenir de manière instantanée lorsqu'un risque de formation de verglas apparaît en projetant sur la chaussée de la saumure. L'objectif de ce travail de recherche consiste à fournir une méthode d'évaluation qui justifie la mise en place d'une IAD, en considérant les aspects pertinents.

La méthode procède en deux étapes. Tout d'abord, un **examen d'opportunité** permet de vérifier si l'impulsion à l'élaboration du projet est fondée. Une série de critères d'opportunité est analysée et jugée de manière qualitative, en se basant soit sur des informations statistiques, soit sur des prévisions pour un projet de route à construire. Ces critères d'opportunité sont relatifs à la sécurité, à l'exploitation, à la fonction et à la situation de la route et au climat.

Si l'opportunité de la mise en place d'une IAD est vérifiée, le **choix de variantes** permet de déterminer la configuration idéale pour le tronçon de route étudié à l'aide d'une méthode multicritère d'aide à la décision de type agrégation complète. Les critères de choix sont notés par le projeteur et pondérés par des spécialistes, afin de mettre en évidence une ou plusieurs variante(s) adaptée(s). Les critères de choix sont répartis dans 4 familles (Economie, environnement, trafic, exploitation).

## Zusammenfassung

Seit ungefähr 25 Jahren unterstützen automatische Taumittelsprühanlagen (TMS) den Winterdienst. Diese Systeme sind sofort einsetzbar sobald ein Vereisungsrisiko besteht und sprühen eine Salzlösung auf die Fahrbahn. Das Hauptziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Bereitstellung einer Beurteilungsmethode, welche den Einbau einer TMS rechtfertigen, unter Einbezug der wichtigsten Aspekte.

Die vorgeschlagene Methode wird in zwei Schritten durchgeführt. Zuerst erlaubt eine **Zweckmässigkeitsuntersuchung** herauszufinden, ob und wo die Erarbeitung eines detaillierten Projekts berechtigt ist. Eine Reihe von Zweckmässigkeitskriterien wird analysiert und qualitativ bewertet, basierend auf statistischen Informationen und, im Falle von geplanten Streckenabschnitten, auf Prognosen. Diese Zweckmässigkeitskriterien behandeln Aspekte wie die Sicherheit, den Betrieb, die Funktion und die Situation des Strassenabschnitts, sowie das Klima.

Falls ein detailliertes Projekt für den Einbau einer TMS berechtigt ist, wird eine **Variantenwahl** durchgeführt, welche mit Hilfe einer multikriteriellen Analyse die ideale Konfiguration für den entsprechenden Abschnitt bestimmen soll. Die in vier Familien aufgeteilten Auswahlkriterien (Wirtschaftlichkeit, Umwelt, Verkehr, Betrieb) werden vom Projektverfasser benotet und von den verschiedenen involvierten Spezialisten gewichtet, um eine oder mehrere Bestvarianten zu bestimmen.

## Abstract

For about 25 years already, automatic thaw agent spraying systems have been a contribution to the task of winter maintenance. These systems allow a quick intervention as soon as a risk of icing of the roadway appears by spraying a liquid thaw agent. The main goal of this research is to supply an evaluation method that can justify the implementation of an automatic thaw agent spraying system, considering all important aspects.

The evaluation is carried out in two steps. First, an **opportunity examination** allows verifying whether a detailed project for a spraying system is justified. Several opportunity criteria are analysed and judged in a qualitative manner, using statistical or projected data, for existing or planned roads respectively. These opportunity criteria are treating road safety, operations, road function and situation, as well as the climate.

If the detailed project is judged necessary, the **choice of equipment alternatives** helps finding the ideal configuration for the examined road stretch using a multicriteria analysis. The choice criteria are marked by the projector and weighed by a group of involved specialists, in order to determine the most adapted equipment alternative. The choice criteria are divided into four categories: economy, environment, traffic and operations

# 1 Introduction

## 1.1 Situation

Le service hivernal du réseau routier principal nécessite des moyens d'intervention importants et performants pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic. Pour certains points particuliers du réseau routier le service hivernal demeure problématique. C'est le cas pour certains ouvrages d'art, ainsi que pour les secteurs où l'on observe des changements rapides des conditions climatiques. C'est aussi le cas de tronçons fortement chargés en trafic, où toute modification de l'état de la chaussée accroît considérablement les risques d'accidents, rendant par la suite les interventions de service hivernal problématiques. La grande distance qui peut séparer un centre d'entretien d'une zone à traiter peut également s'avérer être un obstacle majeur à une maintenance rapide et efficace. Aujourd'hui, les installations automatiques de déverglage (IAD) permettent d'agir immédiatement en cas de verglas, sans intervention d'une épandeuse et d'une équipe.

## 1.2 Problématique

Les installations automatiques de déverglage (IAD) ont fait leur apparition dès la fin des années 70. Aujourd'hui encore, leur implantation est très limitée en Suisse et se confine à certains secteurs et ouvrages d'art confrontés à des problèmes de service hivernal. Souvent des conditions climatiques très particulières et des délais d'intervention par des moyens classiques inadaptés sont les arguments pour la mise en service de telles installations.

D'autre part, l'accroissement du trafic entraîne inexorablement une augmentation des zones où une saturation de l'infrastructure se manifeste fréquemment. Ceci est particulièrement le cas aux abords des grandes villes (routes d'accès principales, autoroutes de contournement). Lorsque les conditions hivernales apparaissent sur ces tronçons, il s'ensuit une congestion du trafic et l'impossibilité de traiter la chaussée avec une épandeuse.

Enfin, une installation automatique est un plus pour la sécurité des usagers de la route. Il s'avère en effet que les IAD permettent de traiter la chaussée au moment opportun, c'est-à-dire juste avant l'apparition des risques de perte d'adhérence du revêtement, ce que ne permet pas toujours le service hivernal par des moyens traditionnels. Pour limiter ce risque, l'épandage traditionnel nécessite des applications à titre préventif. Or celles-ci sont déconseillées, voire interdites, en raison de leur impact sur l'environnement.

L'utilisation d'IAD pour assurer le service hivernal de certains tronçons particulièrement problématiques s'avère judicieuse pour la sécurité des usagers, la garantie d'un niveau de service optimal pour le trafic, mais également en terme économique par la réduction des coûts liés aux accidents et par un épandage strictement limité aux besoins.

Comme le champ d'utilisation des IAD s'élargit, il apparaît nécessaire au vu du coût de telles installations, de définir les critères justifiant leur mise en place. Ainsi tout nouveau projet d'installation pourra se justifier sur des bases d'évaluation solides.

### **1.3 Objectifs de la recherche**

L'objectif principal du présent travail de recherche consiste à définir les conditions qui justifient la mise en place d'une IAD sur un tronçon de chaussée, en considérant l'ensemble des aspects climatiques, topographiques, géométriques, écologiques, de rentabilité et de sécurité. Cette approche nouvelle est conforme aux objectifs d'évaluation des projets selon les principes du développement durable.

Cette étude doit permettre de fournir aux maîtres d'ouvrages (OFROU<sup>1</sup>, bureaux des autoroutes, services cantonaux des routes) et aux bureaux d'études une méthode claire dont l'application aboutit à la justification ou non de l'implantation d'une IAD. Cette méthode s'adaptera au volume et à la pertinence des données qui pourront être réunies dans chaque cas.

---

<sup>1</sup> Office fédéral des routes, Berne

## **2 Démarche de la recherche**

Le travail de recherche est divisé en plusieurs étapes, décrites ci-après.

### **2.1 Etat des connaissances**

Dans cette première étape, décrite dans le chapitre 3, les principales études ayant été réalisées sur ce thème ont été inventoriées et leurs résultats ont été synthétisées. L'analyse d'ouvrages décrivant les règles d'application dans la pratique, au niveau national et international, a également été effectuée.

### **2.2 Mode de fonctionnement et inventaire des IAD existantes**

Le chapitre 4 est consacré à la description du fonctionnement d'une IAD. Les composants principaux y sont décrits et les fonctions principales y figurent.

La plus grande expérience en la matière menée en Suisse a eu lieu sur l'autoroute de contournement de Lausanne, par la mise en place d'une IAD sur 8 kilomètres.

Plusieurs IAD sont actuellement en fonction en Suisse, en Europe, en Amérique du Nord ou encore en Asie. Un inventaire de la plupart d'entre elles est réalisé (Chapitre 5). Parmi ces installations ont surtout été analysées :

- Viaduc d'Aigues-Vertes (autoroute de contournement de Genève)
- Autoroute de contournement de Lausanne
- Viaduc autoroutier de Flamatt (canton de Fribourg)
- Montée de Lüdenscheid (autoroute A45, Allemagne)
- Montée du Bielefelder Berg (autoroute A2, Allemagne)
- Pont de la I-35W à Minneapolis (autoroute I-35W, Etats-Unis)

Ces descriptions portent notamment sur les objectifs qui sont à l'origine de l'implantation de ces IAD, leur mode de fonctionnement (commandes automatiques ou semi-automatiques, par exemple), la situation topographique et géométrique, les conditions météorologiques, le type de trafic, etc.

### **2.3 Evaluation de l'opportunité et de l'efficacité de ces IAD**

Pour plusieurs des IAD citées plus hauts, leur évaluation a déjà fait l'objet d'une étude. Dans le chapitre 6, les résultats de ces études sont synthétisés et les paramètres les plus importants sont mis en évidence.

Des contacts ont été pris avec les utilisateurs d'IAD pour connaître leur opinion et leur position. Cette démarche a permis de tirer un bilan des IAD dont l'évaluation n'a pas été réalisée.

Durant cette phase, le LAVOC a pu mettre à profit ses nombreux contacts qu'il entretient dans le domaine depuis plusieurs années. Il s'est notamment entretenu avec les services des routes de Genève, Vaud et Fribourg ainsi qu'avec la société Boschung-Mecatronic SA, fournisseur d'IAD.

Un inventaire des critères utilisés lors de ces études se trouve au chapitre 7. Cette liste sert de base pour la proposition de critères pertinents lors de la procédure de justification.

## **2.4 Elaboration d'une liste de critères jouant un rôle dans la justification de la mise en place d'une IAD**

Sur la base des deux premières étapes, une liste de critères a été établie. Ils sont regroupés selon différentes catégories dont les principales sont :

- Paramètres économiques
  - Investissement
  - Exploitation
- Accidents
- Conditions météorologiques
- Trafic
- Conditions du service hivernal actuel
- Fonction de la route
- Paramètres relatifs à l'environnement
- Protection des ouvrages d'art
- Paramètres relatifs à la route
  - Géométrie
  - Revêtement

## **2.5 Proposition d'une méthode d'analyse**

Basée sur le principe d'une analyse multicritère, la méthode proposée au chapitre 8 permet de prendre en compte tous les paramètres qui ont été mis en évidence dans la phase précédente. La procédure de pondération est établie, des exemples sont donnés sur la base des évaluations des IAD déjà en fonction.

## 3 Etat des connaissances

### 3.1 Service hivernal en général

Le service hivernal a déjà fait l'objet de diverses études qui se focalisent sur la rentabilité du service hivernal et l'optimisation des coûts [1, 2]. Plusieurs études relèvent que l'épandage, surtout hors localité, apporte un certain bénéfice au niveau des coûts sociaux. Ceci est principalement dû aux coûts d'accidents et de pertes de temps, qui sont réduits de manière importante sur une route traitée par un agent de déverglaçage.

Un travail de recherche en cours par RappTrans SA analyse la rentabilité du service hivernal en Suisse [3] en appliquant principalement la méthode décrite par Durth en Allemagne [2] et en observant de manière détaillée quelques points du réseau routier. Les premiers résultats montrent que la vitesse moyenne augmente après le traitement de la chaussée, ce qui entraîne une diminution de la perte de temps.

### 3.2 Installations automatiques de déverglaçage

Les IAD constituent une innovation relativement récente et constitue un produit du commerce sur lequel peu de publications scientifiques sont disponibles.

Une des rares contributions qui traite en même temps de l'efficacité économique et technique des IAD a été établie par la BAST<sup>2</sup> [4]. Ce rapport décrit, à l'exemple d'une installation de 6 km sur la **A45 entre Francfort et Dortmund**, les impacts économiques de l'IAD, notamment en considérant le nombre d'accidents. Les expériences faites avec les différentes installations en service ne permettent pas une conclusion générale, tout dépend de l'objectif de l'installation et des souhaits de l'exploitant.

Le cas présenté a connu quelques difficultés techniques, liées à la taille de l'ouvrage et les connaissances encore limitées du fournisseur. En plus, des accidents ont souvent causé des dégâts importants au câblage de l'installation. Pourtant, une réduction d'environ 50 % du nombre d'accidents causé par des conditions hivernales a été constaté, malgré une augmentation importante du trafic de 44 % en 10 ans. Au niveau économique, on peut s'attendre à des résultats beaucoup moins spectaculaires, car une IAD n'a pas pour but de remplacer le service hivernal traditionnel, mais de le compléter. L'analyse économique effectuée n'est pas complète, car la durée de vie de l'ouvrage (15 ans) n'est pas encore atteinte. La difficulté de l'analyse coût/bénéfice réside en général du côté des bénéfices qui sont plus difficiles à chiffrer que les coûts. Les points suivants montrent pour quels domaines les IAD peuvent être bénéfiques :

---

<sup>2</sup> Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch-Gladbach (Allemagne)

- Sécurité routière : diminution des coûts d'accidents
- Exploitation : diminution de la congestion et ainsi des coûts d'exploitation et des temps de parcours
- Protection de l'environnement : diminution de la pollution, de la quantité de sel épandu et de l'utilisation de carburant
- Utilisateur : diminution des temps d'attente et du stress

En prenant les bénéfices des deux premières catégories, les seules qui ont été chiffrées, le rapport bénéfice/coût est d'environ 1,9.

Le rapport propose une série de mesures pour améliorer des systèmes futurs, ainsi que quelques critères pour l'application des IAD et des systèmes d'alerte de verglas.

En Suisse se trouve une des installations les plus importantes. L'autoroute de **contournement de Lausanne** est équipée d'une IAD sur une longueur de 8 km [5, 6]. La justification économique de cet ouvrage se base essentiellement sur les bénéfices attendus de la diminution de la quantité de sel épandu, à la diminution des accidents et du nombre de congestions. Ainsi, un rapport bénéfice/coût de 1,45 a été estimé comme probable. Le rapport de suivi de l'installation ne peut pas confirmer ce chiffre, car il n'est pas possible de déterminer de manière exacte ni la quantité exacte de sel épandu, ni le nombre de congestions imputables aux conditions hivernales. Seuls les accidents ont pu être analysés. Une diminution d'environ 50 % est constatée, mais le nombre d'accidents dus aux conditions hivernales est inférieur (d'environ 50 %) aux valeurs prévues dans l'étude économique.

D'autres gains plus pratiques, non chiffrables, sont pourtant mis en avant par l'exploitant du système. Un des plus important est l'accessibilité à l'autoroute en tout temps. Avant l'installation de l'IAD, les épanduses ne pouvaient souvent pas rentrer sur l'autoroute, car elles étaient gênées par des véhicules bloqués par le verglas. En plus, comme les ponts risquent de geler plus tôt que les tronçons sur terrain naturel, une intervention y est souvent nécessaire avant que cela soit le cas pour le reste de l'autoroute.

L'état de **Minnesota aux Etats-Unis** a commencé de mettre en place des systèmes semi-automatiques (commandés à distance) dans les années 90 [7-9]. Les expériences étant très positives, plusieurs ponts ont ensuite été équipés de systèmes automatiques. Une analyse coût-bénéfice a été effectuée sur la base des coûts d'investissement et d'exploitation d'un côté et les bénéfices dus aux accidents de l'autre. Des rapports bénéfices/coûts d'environ 3 sont trouvés pour plusieurs ouvrages.

Une étude plus récente analyse l'utilisation de différentes méthodes pour l'aide à la décision pour l'installation d'IAD, principalement pour les ponts [10]. Deux méthodes monocritère et deux méthodes multicritères sont utilisées pour décider de l'installation d'IAD sur plusieurs **ponts en Nebraska**. Les méthodes monocritère (rapport bénéfice/coût et efficacité des coûts) se basent uniquement sur les coûts de l'installation et des bénéfices issus par la diminution du nombre d'accidents et des congestions en résultant. Les méthodes multicritères ont l'avantage de réunir des critères supplémentaires et de leur donner différents poids de pondération dans l'équation. Parmi les critères retenus se trouvent les données sur les ouvrages considérés, le trafic, la météo, l'accessibilité et l'efficacité économique.

### 3.3 Méthodes de choix

Un certain nombre de travaux de recherche est consacré aux méthodes de choix. Un descriptif en est donné dans le travail de thèse de Tille [11], qui fait une synthèse des principaux procédés utilisés et qui contient une application pratique d'une méthode pour un projet routier dans sa phase de conception.

En Suisse, l'office fédéral des routes (OFROU) a élaboré un **instrument d'évaluation de projets d'infrastructure routière** qui prend en compte les objectifs du développement durable. Ce projet, nommé « NISTRA » [12], présente une série d'objectifs et d'indicateurs du développement durable, ainsi qu'une méthode d'agrégation, qui sont utilisés pour des projets d'infrastructure routière au niveau national à partir de 2003.

NISTRA reprend le canevas des **objectifs et des indicateurs de transports durables** existants du DETEC (« ZINV »), un système de 9 objectifs et 24 indicateurs pour les 3 domaines du développement durable. Une analyse coûts/avantages étendue est utilisée, c'est-à-dire que les critères non monétarisables sont ajoutés de manière qualitative après l'analyse coûts/avantage habituelle sous forme d'un système de points.

## 4 Description d'une IAD

### 4.1 Fonctions principales

L'objectif principal du service hivernal est d'assurer une viabilité hivernale suffisante d'une chaussée, afin de garantir la sécurité routière et un certain confort. Les IAD sont censées soutenir les services d'entretien en effectuant les deux tâches suivantes :

- Eviter la formation de verglas
- Maintenir la neige fraîchement tombée dans un état qui permet son évacuation facile par un chasse-neige.

Ses senseurs et détecteurs implantés dans la chaussée et les appareils météorologiques permettent une analyse du risque de formation de verglas sur la chaussée. Avec ces appareils, il est également possible de détecter des précipitations sous forme de neige. Sur la base de ces informations, une décision – soit automatique soit de la part d'un opérateur – peut être prise, afin d'intervenir d'une manière adaptée.

Une IAD permet une intervention rapide, peu après les premières indications de risque de verglas. Le schéma suivant (Figure 1) montre la différence que peut faire une intervention quasi instantanée d'une IAD par rapport à un épandage traditionnel par camion. Il est nécessaire de déterminer si ce gain en temps justifie l'investissement supplémentaire et les frais d'exploitation d'un tel système. Le but de ce travail de recherche est la proposition d'une méthode d'évaluation qui permet cette comparaison.

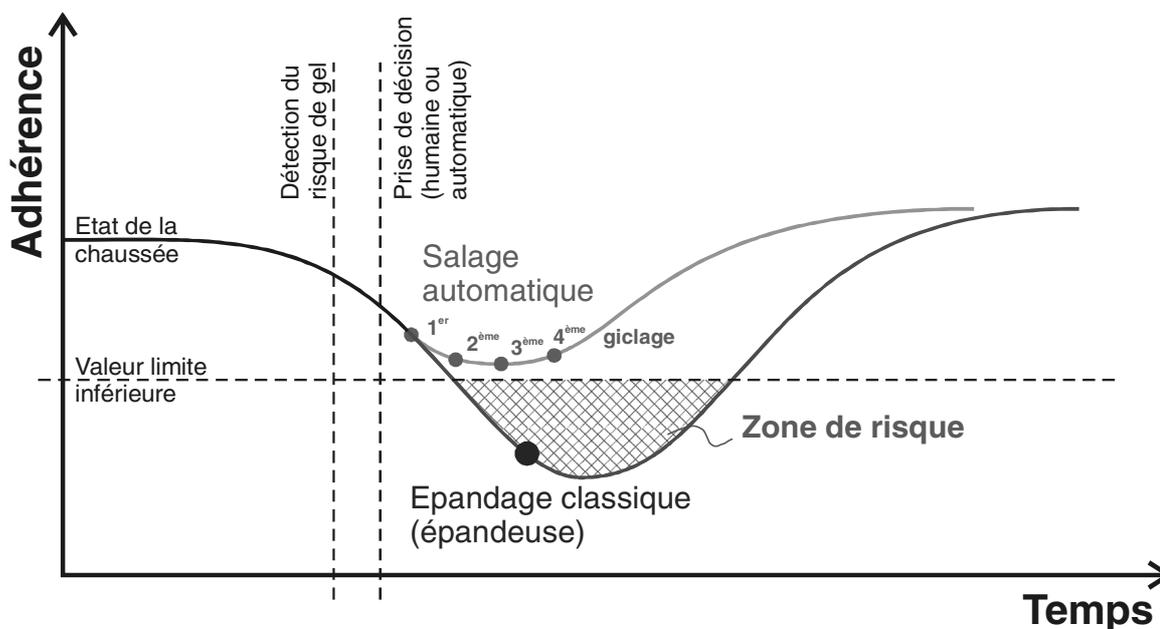


Figure 1 : Avantage d'une intervention rapide à l'aide d'une IAD

Un avantage supplémentaire est le dosage plus fin que permet une IAD et ainsi une intervention adaptée aux besoins. Si nécessaire, la chaussée est aspergée plusieurs fois en peu de temps, car un giclage n'émet qu'une quantité limitée de saumure (théorique 2-3 g/m<sup>2</sup>).

Il est, par contre, plus difficile de changer l'agent chimique, ce qui peut s'avérer nécessaire quand les températures descendent au-dessous de -8°C. C'est à cette température que l'efficacité de la chlorure de sodium diminue et qu'il est souhaitable d'intervenir avec de la chlorure de calcium [13]. Il n'est pas conseillé d'utiliser plusieurs agents de déverglçage pour une seule IAD, car ils doivent être stockés dans différents réservoirs et l'utilisation parallèle peut s'avérer problématique.

Une IAD peut également être avantageuse au début d'une chute de neige. En aspergeant rapidement la chaussée, la neige ne « colle » pas au revêtement et peut être dégagée plus facilement. Ceci est très intéressant pour des surfaces à forte porosité, comme un enrobé drainant. Néanmoins, cet effet est limité à quelques situations bien précises et il faut être conscient que les IAD ne peuvent en aucun cas remplacer le déneigement par des chasse-neige.

## **4.2 Composants**

Ce chapitre présente les composants d'une installation automatique de déverglçage. Il est essentiellement inspiré par [14].

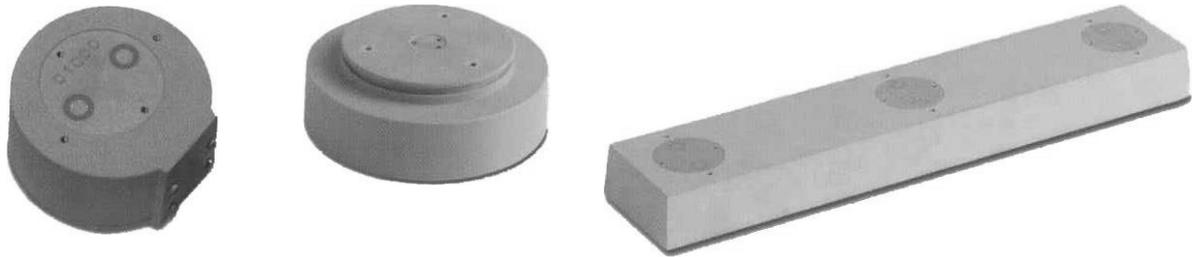
Une IAD se compose de trois éléments principaux :

- la détection de verglas
- le système d'opération
- la partie hydraulique

Une coordination parfaite entre ces différents composants est nécessaire pour un fonctionnement efficace, économique et écologique.

### **4.2.1 Le système de détection de verglas**

Ce premier composant constitue la partie sensorielle de l'installation. Des détecteurs actifs ou passifs mesurent en tout temps les conditions au niveau de la chaussée. Leur emplacement doit être défini de manière judicieuse, en fonction de la sensibilité au gel du tronçon. Une thermographie, ainsi que l'expérience des services d'entretien aident à la décision de la répartition des détecteurs.



**Figure 2 : Détecteurs de verglas : Modèle passif (à gauche) et modèles actifs (au milieu et à droite) (Source : Boschung Mecatronic SA)**

Ce système de détection de verglas, à lui tout seul, est d'une grande utilité pour les services d'entretien, car il les soutient pour prendre des décisions d'intervention. Pour cette raison ces systèmes sont installés de plus en plus souvent sur le réseau entier, sans être cependant liés à une IAD.

#### **4.2.2 Le système d'opération électronique**

Le système d'opération est l'épine dorsale et le cerveau de l'IAD. A travers ce système traversent les informations (détection de verglas) et les commandes (giclage). Il est très important que l'ensemble de l'électronique (à l'extérieur en particulier) soit protégé des intempéries et des incidents potentiels.

Le logiciel de commande doit présenter différentes propriétés :

- Analyse des paramètres mesurés sur le terrain et prise de décision
- Commande automatique du giclage
- Possibilité d'une intervention manuelle en tout moment, ce qui peut s'avérer nécessaire lors de conditions météorologiques particulières ou pour l'entretien du système
- Possibilité de changer les critères d'intervention : Le réglage exact de l'installation est important, il faut trouver un équilibre entre une intervention presque sans effet et le gaspillage de saumure
- Surveillance automatique de l'état de fonctionnement du système, avec avertissement des personnes responsables en cas de dysfonctionnement
- Affichage des paramètres mesurés sur le terrain (température, point de rosée, humidité, précipitations, etc.)

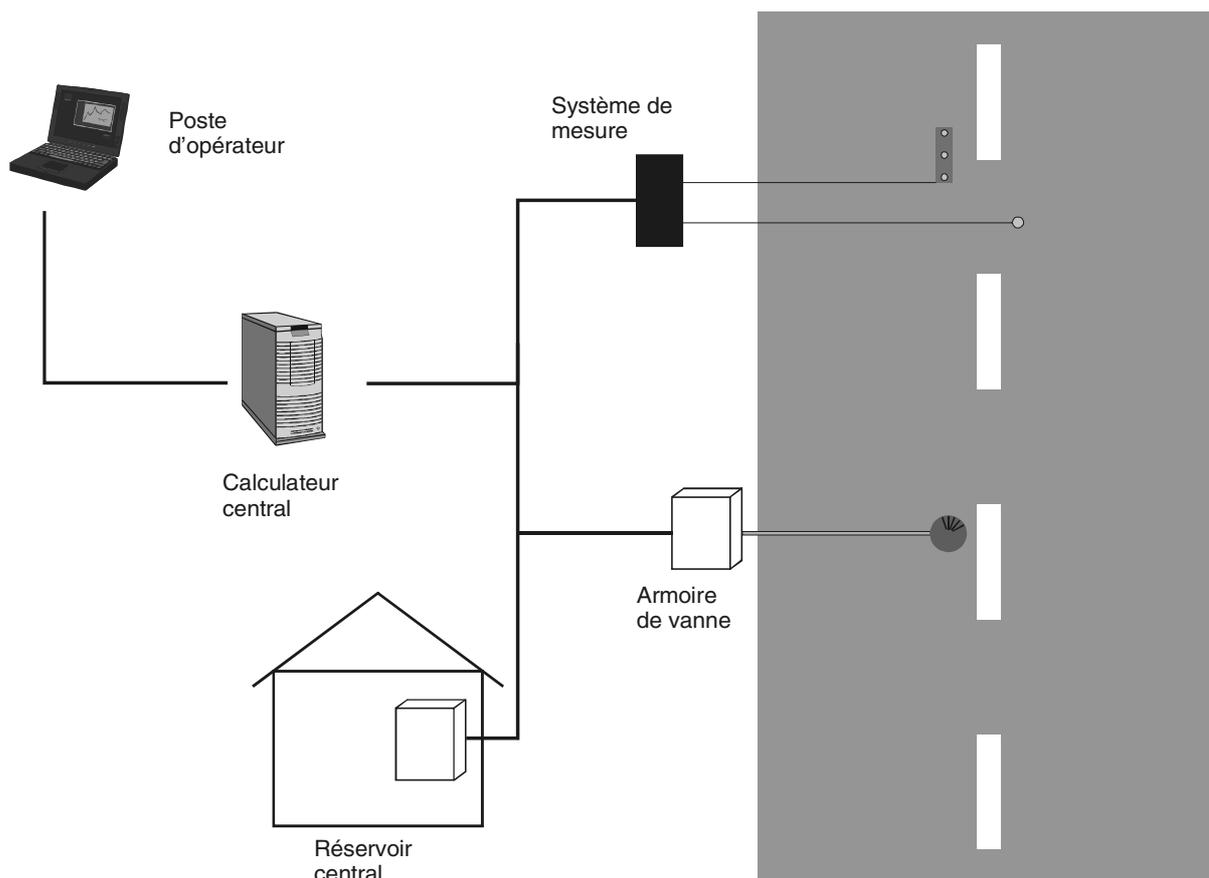


Figure 3 : Système d'opération électronique

### 4.2.3 Le système hydraulique

Les composants principaux du système hydraulique sont les suivants :

- Pompe et réservoir de saumure (éventuellement nécessité de sous-stations) : Servent à l'approvisionnement général du système. Sont placés dans un local spécifique
- Conduites pour le transport de la saumure jusqu'aux unités de giclage. Doivent être protégées contre les intempéries et des incidents et permettre l'inversion du flux (vidange, nettoyage,...). La résistance aux rongeurs est également à considérer
- Unités de giclage avec têtes d'aspersion placées au bord de la chaussée, dans le parapet latéral en béton ou implantées directement dans le revêtement (aussi appelées assiettes de giclage)

Les installations de nouvelle génération ne sont plus constamment sous pression. Des récipients locaux (unités de soupape) sont remplis avec la quantité nécessaire pour un giclage. Ainsi, le système peut toujours fonctionner au moins une fois, même en cas de rupture de la conduite principale (suite à un accident, par exemple).

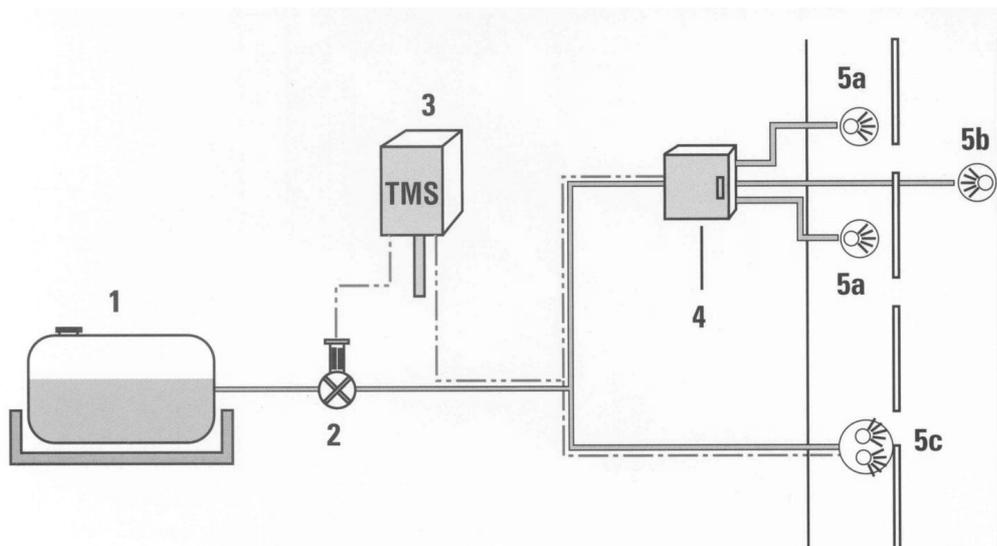


Figure 4 : Système hydraulique : 1 : Réservoir ; 2 : Pompe ; 3 : Commande électronique ; 4 : Armoire de vannes ; 5 : unités de giclage (Source : Boschung Mecatronic SA)

#### 4.2.4 Evolution des unités de giclage

Depuis le début des IAD, le développement des composants s'est poursuivi avec une attention particulière donnée aux unités de giclage, qui doivent être performantes, sans trop gêner les conducteurs. On peut actuellement distinguer trois types d'unités de giclage :

La **tête de giclage** a été le premier type à être installé (Figure 5, à gauche). Elle est généralement placée sous la glissière ou dans le parapet latéral de la route. Le jet sort presque horizontalement et peut asperger deux voies sans problèmes. En présence d'une voie supplémentaire (ou de la bande d'arrêt d'urgence), l'utilisation de la tête de giclage n'est plus recommandée, sauf si les têtes sont installées des deux côtés de la chaussée.

La technologie de l'aspersion automatique étant également utilisée sur des surfaces importantes, comme des aéroports, les **assiettes de giclages** ont été développées (Figure 5, à droite). Cette assiette est complètement intégrée dans la chaussée et elles ne gênent ainsi pas le passage des véhicules. Le jet doit sortir avec un certain angle, afin de pouvoir asperger la route dans toute sa largeur. Ainsi, trois voies peuvent être traitées sans problèmes.

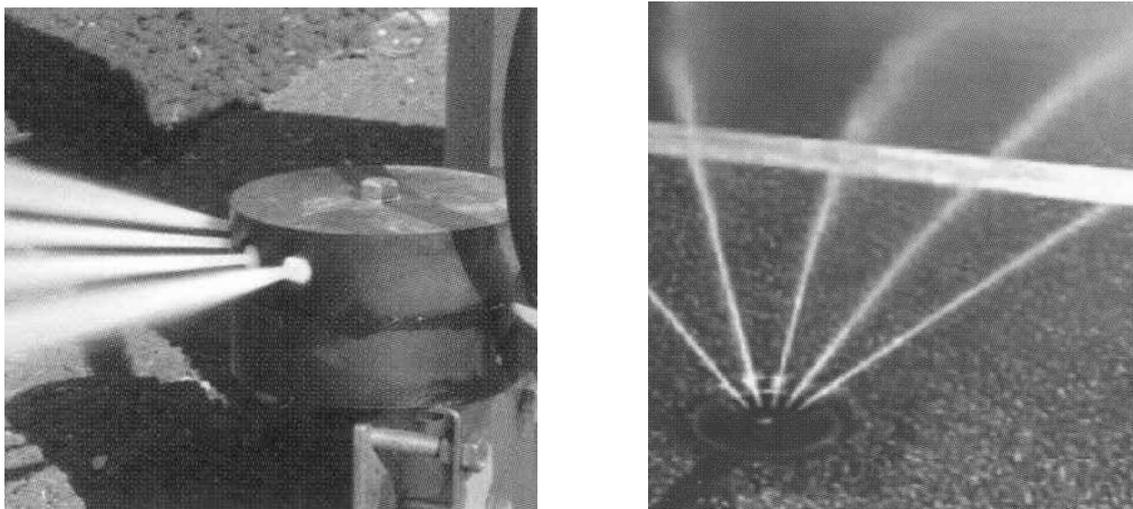


Figure 5 : Différentes unités de giclage actuellement utilisées : Tête (à gauche), assiette (à droite) (Source : Boschung Mecatronic SA)

Le dernier développement est une **tête à microjet**, qui – comme l'assiette de giclage – est intégrée dans la chaussée (Figure 6). Une unité de soupape peut alimenter jusqu'à 20 têtes, qui sont distancées de 5 m. Les microjets peuvent être orientés et aspergent jusqu'à deux voies. Pour une route à trois ou quatre voies, une deuxième unité parallèle est nécessaire le long de la route. Le jet étant plus fin, le temps d'aspersion est allongé.

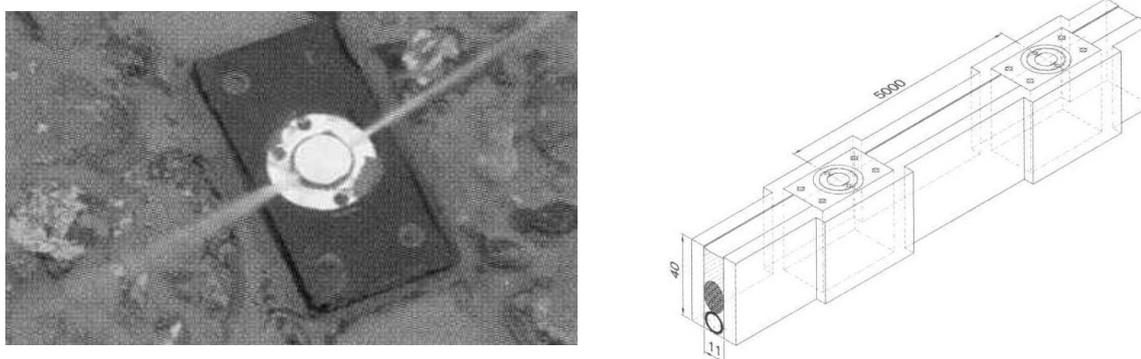


Figure 6 : Tête à microjet (Source : Boschung Mecatronic SA)

#### 4.2.5 Exploitation

Pour des systèmes de longueur importante, une division de l'installation en plusieurs tronçons indépendants est nécessaire. Ces sous-systèmes d'une longueur d'environ 500 à 600 m disposent en général de leurs propres détecteurs de verglas et peuvent fonctionner indépendamment les uns des autres. Néanmoins, il convient d'éviter le « patchwork » en installant des IAD isolées sur des ponts proches les uns des autres.

Il est possible d'utiliser différents types d'agents chimiques pour asperger la chaussée. Les plus employés sont des solutions de chlorure de sodium (NaCl) et de chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>). Cette dernière est plus intéressante en cas de températures très basses (< -10°C), quand l'efficacité du NaCl diminue fortement. Par contre, dans des conditions

météorologiques particulières, des grandes quantités de cette solution (p.ex. après la rupture d'une conduite) peuvent diminuer de manière sensible l'adhérence de la chaussée.

Un entretien régulier du système est indispensable. Après chaque hiver, le système hydraulique est nettoyé et rempli d'eau pure. Il est conseillé d'activer le système de manière régulière pendant l'été, en aspergeant de l'eau sur la chaussée, de préférence la nuit et en cas de pluie, afin de déranger les usagers le moins possible.

## 5 Inventaire des installations existantes

L'inventaire se base essentiellement sur les informations reçues par les fabricants de ces systèmes.

Le principal fournisseur au monde est l'entreprise Boschung Mecatronic SA à Fribourg en Suisse, qui a déjà mis en place environ 80 installations (état 2003).

D'autres entreprises se trouvent essentiellement aux Etats-Unis :

- Odin Systems, Georgia
- Energy Absorption Systems Inc, Illinois
- Raven Industries, South Dakota

Après une première installation sur le pont de Flamatt en Suisse en 1979, la technologie a rapidement été appliquée en Allemagne où quatre installations étaient mises en service au début des années 80.

### 5.1 Liste d'installations par pays

Une liste détaillée se trouve à l'annexe 1.

Pays	Nombre d'installations	Années d'expérience
Allemagne	24	21
Canada	3	3
Corée du Sud	3	4
Danemark	1	11
Espagne	3	2
Etats-Unis	13	5
France	8	9
Italie	2	6
Japon	1	1
Luxembourg	1	15
Pologne	2	4
Russie	3	5
Suisse	11	11
Tchéquie	6	8
Ukraine	1	7

**Tableau 1 : Liste d'installation mises en place par Boschung Mecatronic SA (Etat début 2003)**

## 5.2 Présentation de quelques installations caractéristiques

Dans la suite sont présentées quelques installations mises en place dans la période des 20 dernières années. Les principales caractéristiques, comme la longueur, le type de gicleurs, et les conditions particulières sont décrites, ainsi que quelques détails de l'exploitation.

### 5.2.1 Aigues-Vertes

L'IAD du pont d'autoroute des Aigues-Vertes a été mise en place lors de la construction de l'autoroute au-dessus du Rhône et entre les tunnels de Vernier et de Confignon. Dans ce cas l'épandage traditionnel du pont aurait été difficile à réaliser en raison de la présence des deux tunnels qui eux ne doivent pas l'être. Le bureau des autoroutes de Genève escomptait une réduction globale des coûts du service hivernal sur ce tronçon.

Les gicleurs sont installés dans le parapet du bord, le système hydraulique et les câbles électriques sont installés dans le caisson du pont. La première année déjà, un accident dans le système hydraulique a causé une fuite de saumure et des dégâts importants au pont. Une révision de toute l'infrastructure a été nécessaire.

Type de route	Autoroute 2x2 (pont)
Détails de l'IAD	50 têtes de giclage, intégrées dans le parapet Système électrique et hydraulique dans le caisson du pont
Longueur de l'installation	250 m
Année d'installation	1993
Altitude du site	390 m
Particularités	---

### 5.2.2 Contournement de Lausanne

L'autoroute de contournement a été équipée d'une IAD à l'occasion des grands travaux d'élargissement de deux à trois voies entre 1995 et 1997. Afin de répondre à des exigences au niveau du bruit, tout l'ouvrage a été réalisé avec une couche de roulement en enrobé drainant. La porosité de cet enrobé est un désavantage au niveau du risque de gel. En plus, les eaux évacuées de manière rapide emportent également l'agent de déverglage. Des essais préalables ont été effectués, afin de déterminer la distance idéale entre les assiettes de giclage.

Au total, l'ouvrage mesure plus de 8 km dans les deux directions. Les systèmes hydraulique et électrique sont placés en plein air dans le terre-plein central. Ce type de configuration pose des problèmes particuliers au niveau de la protection de ces systèmes. Ils sont bien protégés du trafic (accidents) par des parapets en béton de type New Jersey, mais les câbles et les conduites sont souvent attaqués par des rongeurs.

Type de route	Autoroute 2x3
Détails de l'IAD	1071 assiettes de giclage dans le revêtement Systèmes électrique et hydraulique à l'air libre dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	7'400 m
Année d'installation	1997
Altitude du site	500 - 700 m
Particularités	Revêtement drainant

### 5.2.3 Flamatt

Après l'accident majeur de la chute d'un poids lourd depuis le viaduc, le service d'entretien a cherché une solution pour rendre plus sûr cet ouvrage. La forte déclivité du viaduc, sa distance du centre d'entretien, ainsi qu'un différentiel de température parfois important ont toujours posé des problèmes au niveau du service hivernal. La maison Boschung Mécatronic SA, voisine du service d'entretien à Granges-Paccot et spécialiste dans le domaine du service hivernal, a été approchée par le bureau des autoroutes (BAR) du canton de Fribourg.

Le résultat de cette collaboration était la première IAD en Suisse. Les 90 gicleurs sont montés sous la glissière du terre-plein central à un intervalle de 16 m.

L'expérience faite avec l'IAD était assez positive et le BAR a décidé d'équiper également la bretelle de sortie de Flamatt, qui débute peu après le viaduc.

Type de route	Autoroute 2x2 (viaduc)
Détails de l'IAD	90 têtes de giclage, montées dans la glissière centrale Systèmes électrique et hydraulique à l'air libre dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	800 m
Année d'installation	1979
Altitude du site	540 - 580 m
Particularités	---

### 5.2.4 Lüdenscheid

Le tracé de l'autoroute A45 à travers le « Sauerland » (Allemagne) est sinueux et présente des déclivités parfois importantes, imposé par le terrain accidenté (voir en annexe 11.2 et [4]). Les autorités ont décidé d'équiper un tronçon particulièrement dangereux en 1986. Les poids lourds, en glissant sur le verglas, ont à de nombreuses reprises bloqué l'autoroute.

L'IAD de Lüdenscheid était la première installation continue de longueur importante (presque 7km). Elle a servi de laboratoire en vraie grandeur, car le système était encore perfectible. Les systèmes hydraulique et électrique sont installés à ciel ouvert le long des glissières. Plusieurs fois, lors d'un accident, les conduites d'alimentation se sont rompues et la saumure

s'est répandue dans le terrain et sur la chaussée. Depuis, un système de soupapes retient la saumure en cas de rupture.

Malgré les améliorations, la maintenance de cette IAD occupe collaborateur à plein temps au sein du service d'entretien. Selon les dernières informations, le remplacement de tout le système est prévu au courant de l'année 2004.

Type de route	Autoroute 2x2
Détails de l'IAD	480 têtes de giclage dans la glissière extérieure Systèmes électrique et hydraulique à l'air libre dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	7'000 m
Année d'installation	1986
Altitude du site	280 - 410 m
Particularités	---

### 5.2.5 Bielefelder Berg

Sur l'autoroute A2, une des IAD les plus récentes a été installée au Bielefelder Berg. Elle est continue sur une longueur d'environ 4 km, afin de couvrir la montée et la descente dans les deux directions. Toutes les installations sont enterrées, afin de les protéger le mieux possible.

Les eaux de ruissellement sont emmenées dans une installation spéciale, dans laquelle l'eau est déchlorurée (après la séparation des huiles). Ceci réduit la quantité de sel émise dans les cours d'eau à la fois suite au déverglage.

Type de route	Autoroute 2x3 (pont)
Détails de l'IAD	460 assiettes de giclage dans le revêtement Systèmes électrique et hydraulique enterrés dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	4'000 m
Année d'installation	1995
Altitude du site	300 - 350 m
Particularités	---

### 5.2.6 I-35W Minneapolis

Aux Etats-Unis, les ponts sont souvent construits de manière simple et leur inertie thermique est relativement plus faible. Ainsi, la formation de verglas (appelé « black ice ») est un phénomène courant et la lutte demande des moyens importants. C'est pour cette raison que de plus en plus de ponts critiques sont équipés d'IAD (« Fixed Automated Spray Technology (FAST) »). L'état de la Pennsylvanie compte le plus grand nombre d'installations de ce type.

L'ouvrage présenté ici se trouve à Minneapolis (Etat de Minnesota) et son impact sur la sécurité routière a été suivi et analysé [15]. L'IAD est installée sur une longueur d'environ 600 m. La plupart des 76 gicleurs sont des assiettes intégrées dans la chaussée, les autres

sont montés dans le parapet latéral. Une particularité de l'installation est sa largeur, car l'autoroute compte quatre voies par direction et les assiettes se trouvent à peu près au milieu de la chaussée. Les coûts d'investissement ont été d'environ USD 600'000.

Cette installation servait en tant que système test pour l'Etat du Minnesota. Elle a été évaluée pendant deux hivers après la mise en place. En conclusion, selon le rapport susmentionné, le système a fonctionné de manière satisfaisante et il a considérablement augmenté la sécurité routière (réduction des accidents en conditions hivernales de 68 %) et il constitue un outil performant pour la lutte contre le verglas.

Type de route	Autoroute 2x4 (pont)
Détails de l'IAD	68 assiettes dans le revêtement et 8 têtes de giclage à l'extérieur Systèmes électrique et hydraulique dans la structure du pont (treillis)
Longueur de l'installation	600 m
Année d'installation	1999
Altitude du site	250 m
Particularités	---

## **6 Evaluation des installations automatiques de déverglage**

### **6.1 Etudes de rentabilité**

La rentabilité du service hivernal par épandage d'un fondant chimique est démontrée par un travail de recherche par Ruess [1], qui compare l'épandage de sel à celui de gravier. Cette étude résume les résultats de plusieurs recherches étrangères et estime ainsi que le passage de 140 véhicules en toute sécurité suffit pour rembourser l'épandage d'un tronçon de route si l'on prend en compte les coûts sociaux, les coûts aux usagers et les coûts d'exploitation.

En général, une analyse de l'efficacité est effectuée avant l'installation du système, afin de justifier son financement et sa mise en place et se limite en général à une simple analyse bénéfice/coût. Les hypothèses retenues sont rarement reprises et vérifiées après la construction. Toutefois, il existe quelques cas, pour lesquels un suivi a eu lieu [4, 5, 15].

Un questionnaire, effectué dans le cadre de ce travail de recherche, a montré que différents critères sont utilisés par les exploitants d'autoroutes, mais la méthode d'analyse appliquée est en général du type monocritère. Les résultats détaillés de ce questionnaire se trouvent à l'annexe 3 et leur discussion figurera plus loin.

Une installation peut être financièrement rentable, si les coûts d'installation et d'exploitation sont inférieurs aux coûts du service hivernal traditionnel. Ceci est le cas, par exemple, dans des endroits, où une équipe d'intervention doit constamment être disponible, en attente sur le terrain.

### **6.2 Justification de la rentabilité appliquée lors du projet**

#### **6.2.1 Introduction**

Dans ce chapitre sont présentées plusieurs méthodes d'évaluation. Il s'agit d'argumentations qui ont été établies pour justifier le financement de différentes installations. Les cas présentés correspondent aux exemples d'installations donnés dans le chapitre précédent (chapitre 5.2).

## **6.2.2 Exemples**

### **6.2.2.1 Aigues-Vertes**

Dans le cas de l'installation de Genève, la justification consistait en un descriptif de la situation particulière dans laquelle se trouve le pont d'Aigues-Vertes. En effet, l'ouvrage surplombe le Rhône, ce qui entraîne des conditions climatiques très spéciales par une humidité relative et des courants d'air. En plus de pont est délimité de chaque côté par un tunnel. La réduction des coûts du service hivernal était l'argument principal dans la justification.

Par le manque de données concernant un service hivernal traditionnel – l'IAD était intégrée lors de la construction du pont – une analyse comparative de l'état sans IAD n'est pas possible.

### **6.2.2.2 Contournement de Lausanne**

La justification de l'installation sur le contournement de Lausanne consiste en une analyse bénéfice/coût en tenant compte des critères suivants :

#### **6.2.2.2.1 Coûts**

Coûts d'installation

- équipements
- construction

Coûts d'exploitation

- amortissement des coûts d'installation en 15 ans, des travaux de génie civil en 25 ans
- coûts d'énergie, d'agent de déverglaçage, de personnel et d'entretien

Les coûts d'installation sont intégrés, sous la forme de l'amortissement, dans les coûts annuels d'exploitation et seul ce dernier chiffre est utilisé pour le calcul par la suite.

#### **6.2.2.2.2 Bénéfices**

Accidents

- estimation du nombre d'accidents
- coûts d'accidents selon normes VSS

Coûts de congestion

- estimation du nombre et de l'importance des congestions

Interventions classiques

- estimation de la quantité de sel économisé, y compris frais d'épandage

Tous les coûts sont actualisés à l'année d'installation du système, soit 1997.

#### **6.2.2.2.3 Rentabilité**

Le facteur de rentabilité est calculé en divisant les coûts d'exploitation par les bénéfices. Il s'élève à 1,45 (1,98 sans intérêts) dans le cas présent.

### **6.2.2.3 Flamatt**

La décision d'équiper ce pont avec la première IAD en Suisse a été prise à la suite d'un accident grave en 1977. Un camion et sa remorque ont glissé et sont tombés du pont dans la localité de Flamatt. Ce pont de 700 m présente une forte déclivité (3 à 4 %) et peut connaître des différences de température entre les deux extrémités de plusieurs degrés. En plus, la distance de 21 km jusqu'au centre d'entretien de Granges-Paccot (FR) rendait très difficile une intervention appropriée.

Le bureau des autoroutes a cherché une alternative au service hivernal traditionnel, ce qui a conduit au développement de cette première installation automatique de déverglaçage.

### **6.2.2.4 Nordrhein-Westfalen**

Le Land de Nordrhein-Westfalen (NRW) a une grande expérience avec des IAD. La méthode d'évaluation utilisée est une analyse bénéfice/coût, selon des propositions de la BAST [4], élaborées en collaboration avec les autorités de NRW au début des années 90. Les critères considérés pour le calcul de la rentabilité sont :

#### **6.2.2.4.1 Coûts**

Coûts d'installation

- équipements
- construction

Coûts d'exploitation

- amortissement des coûts d'installation en 15 ans
- coûts d'énergie, d'agent de déverglaçage, de personnel et d'entretien

Les coûts d'installation étant intégrés, sous la forme de l'amortissement, dans les coûts annuels d'exploitation, seul ce dernier chiffre est utilisé pour le calcul par la suite.

#### **6.2.2.4.2 Bénéfices**

Accidents

- moyenne sur 10 ans des accidents dus au gel
- coûts d'accidents selon recommandations

Coût d'exploitation de l'utilisateur

- selon BAST
- se base sur les longueurs de congestions

Perte de temps de l'utilisateur

- se base sur la baisse de vitesse lors des congestions

Tous les coûts sont actualisés à l'année d'installation du système.

Il est conseillé de réduire les bénéfices de 50 % (accidents) ou de 30 % (coûts d'exploitation et de la perte de temps de l'utilisateur). Ceci est nécessaire, parce que l'IAD ne peut pas éviter la totalité de ces événements.

#### 6.2.2.4.3 Rentabilité

Le facteur de rentabilité est calculé en divisant les coûts d'exploitation par les bénéfices minorés (voir ci-dessus). Une description détaillée de l'installation et des coûts de construction engendrés complètent le dossier de demande de financement.

Lorsque le facteur de rentabilité est supérieur à 1, l'installation est, en général, approuvée par le ministère de transport.

#### 6.2.2.5 **Minneapolis**

La formation fréquente de verglas entraînant un nombre élevé d'accidents, ainsi que le trafic important d'environ 140'000 véh/j ont donné l'impulsion à la mise en place de ce système test. Contrairement à la procédure des pays européens, qui évaluent les coûts et les bénéfices, cette IAD a servi d'essai en vraie grandeur pour l'état du Minnesota, afin de vérifier l'efficacité et le bon fonctionnement d'une telle installation.

#### 6.2.2.6 **Conclusions**

En général, un rapport bénéfice/coût est appliqué, afin d'estimer la rentabilité de l'ouvrage. Des critères non-monétaires ne sont pas pris en compte.

## **7 Critères pour la mise en place d'une installation automatique de déverglage**

### **7.1 Introduction**

Afin de pouvoir établir un inventaire des méthodes récemment appliquées pour juger de la rentabilité des IAD, il convient d'analyser les démarches et les critères actuellement retenus pour les installations existantes. Des informations ont été recueillies de différentes sources, dont un questionnaire qui a permis de compléter les méthodes présentées auparavant pour différents exemples.

### **7.2 Questionnaire**

Dans le cadre de ce présent travail de recherche, un questionnaire a été envoyé aux spécialistes du service hivernal de l'AIPCR (Comité C17). Ce questionnaire est présenté de manière plus détaillée en annexe (chapitre 11.3). Le but principal de ce questionnaire est de recevoir des informations sur les méthodes d'analyse utilisées à l'étranger. Il est demandé de donner des informations sur la méthode d'évaluation appliquée dans le pays respectif. Ensuite est demandé l'avis sur un certain nombre de critères proposés doit être donné, avec la possibilité de pouvoir rajouter des critères.

Les pays suivants ont envoyé une réponse :

- Italie
- France
- Finlande
- Etats-Unis (plusieurs réponses, car le questionnaire a été distribué à un grand nombre de services locaux)

Ce questionnaire permet ainsi de connaître les tendances actuelles au niveau de l'estimation de l'efficacité.

Les résultats varient fortement d'un pays à l'autre. En Italie, les autorités se focalisent sur des ouvrages très isolés et pour lesquels l'accès est long depuis le centre d'entretien le plus près, les coûts n'intéressent que peu. Aux Etats-Unis, l'importance est accordée à la sécurité en tenant compte surtout des accidents et à la sensibilité du site au gel.

## 7.3 Inventaire des critères généralement retenus

Dans ce chapitre sont présentés les critères qui sont généralement retenus dans différents pays pour l'évaluation de la rentabilité (c.f. questionnaire et les différentes études [4, 6, 7, 10]). Au cas où un critère est analysé de manière différente d'un pays à l'autre, toutes les variations sont montrées.

### 7.3.1 Critères économiques

#### 7.3.1.1 Coût d'investissement

<b>Données nécessaires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipement technique</li> <li>• Coûts de construction</li> </ul>
<b>Unité</b>	CHF
<b>Evaluation / Calcul</b>	Selon offres du fabricant et/ou de l'installateur
<b>Valeurs par expérience</b>	env. 500 CHF/m et par direction
<b>Remarques</b>	N'est utilisé que de manière indirecte en l'intégrant dans les coûts annuels. Les périodes d'amortissement sont en général différentes pour l'équipement de l'installation de déverglaçage et les œuvres de génie civil

#### 7.3.1.2 Coût annuel d'exploitation et d'amortissement

<b>Données nécessaires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amortissement des coûts d'installation de l'équipement technique (Période : 15 ans)</li> <li>• Amortissement des coûts de génie civil (Période : 25 ans)</li> <li>• Coût de l'agent de déverglaçage (saumure)</li> <li>• Coût de l'énergie</li> <li>• Coût du personnel</li> <li>• Coût de maintenance</li> </ul>
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Evaluation / Calcul</b>	Amortissement selon les coûts d'installation calculés auparavant.
<b>Valeurs par expérience<sup>3</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût de l'agent de déverglaçage : 1.50 CHF/m</li> <li>• Coût de l'énergie : 0.30 CHF/m</li> <li>• Coût du personnel : 3.00 CHF/m</li> <li>• Coût de maintenance : 2.50 CHF/m</li> </ul>

#### 7.3.1.3 Coût annuel des accidents

<b>Données nécessaires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre d'accidents sur le tronçon</li> <li>• Nombre d'accidents dans conditions hivernales</li> </ul>
<b>Unité</b>	CHF / an

---

<sup>3</sup> Source : données de l'entreprise Boschung Mecatronic SA (année : 1994)

**Evaluation / Calcul** Au coût des dommages matériels de chaque accident se rajoute, le cas échéant, celui des dommages corporels. La méthode de calcul est décrite dans SN 640 007.

Il est conseillé de minorer le résultat, afin de tenir compte du fait que l'IAD ne peut pas éviter tous les accidents, des valeurs entre 20 et 50 % sont conseillées.

**Valeurs par expérience** Aucune disponible

#### 7.3.1.4 Coût annuel d'exploitation de l'usager dû aux congestions (méthode allemande)

- Données nécessaires**
- Valeur moyenne pour le coût d'exploitation horaire des véhicules (1)
  - Nombre total de congestions sur le tronçon concerné (2)
  - Nombre de congestions en conditions hivernales (3)
  - Durée moyenne des congestions (4)
  - Trafic journalier moyen dans les 2 directions (TJM) (4)

**Unité** CHF / an

- Evaluation / Calcul**
- Nombre de congestions évitées à l'aide de l'IAD = 70 % de (2) (5)
  - Trafic horaire moyen = 18 % de (4) (6)
  - Nombre de véhicules par heure et par direction = 50 % de (6) (7)
  - Coût horaire d'exploitation = (1) x (7) (8)
  - Coût d'exploitation par congestion = (8) x (3) (9)
  - Coût d'exploitation économisé = (5) x (9)

**Valeurs par expérience** Aucune disponible

Il est admis que l'IAD ne peut pas éviter toutes les congestions en conditions hivernales. C'est pour cela que seulement 70 % des congestions sont prises en compte (sous (5)).

#### 7.3.1.5 Coût annuel de perte de temps de l'usager due aux congestions (méthode allemande)

- Données nécessaires**
- Valeur moyenne pour le coût horaire de perte de temps (10)
  - Nombre de véhicules par heure et par direction (11)
  - Nombre de véhicules par congestion (11)
  - Longueur moyenne des congestions (12)

**Unité** CHF / an

- Evaluation / Calcul**
- Temps de parcours (en min) à 90 km/h = (12) / 90km/h / 60min (13)
  - Temps de parcours (en min) à 5 km/h = (12) / 5km/h / 60min (14)
  - Perte de temps par véhicule = (14) – (13) (15)
  - Perte de temps par congestion = (11) x (15) (16)
  - Coût de perte de temps par congestion = (10) x (16) (17)
  - Coût annuel de perte de temps = (5) x (17) (18)

**Valeurs par expérience** Aucune disponible

### 7.3.1.6 Coût annuel dû aux congestions (méthode suisse)

<b>Données nécessaires</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nombre moyen de congestions par année</li><li>• Durée moyenne des congestions</li></ul>
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Evaluation / Calcul</b>	---
<b>Valeurs par expérience</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CHF 100'000 à 150'000 par congestion [6]</li></ul>

### 7.3.1.7 Coût annuel de l'épandage de sel (service hivernal traditionnel)

<b>Données nécessaires</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coût moyen pour l'épandage de sel</li><li>• Quantité moyenne de sel épandu</li></ul>
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Evaluation / Calcul</b>	---
<b>Valeurs par expérience<sup>4</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coût moyen pour l'épandage de sel : 300 CHF/t</li><li>• Quantité moyenne de sel épandu : 0.0096 t/m</li></ul>

## 7.3.2 Critères non-monétaires

### 7.3.2.1 Conditions météorologiques locales

<b>Données</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Microclimat</li><li>• Sources d'humidité (cours d'eau, générateur de vapeur, etc.)</li><li>• Amoncellement de neige</li></ul>
<b>Unité</b>	---
<b>Evaluation / Calcul</b>	Evaluation qualitative
<b>Valeurs par expérience</b>	Aucune disponible

### 7.3.2.2 Autres critères parfois cités

- Type de revêtement
- Impact sur l'environnement
- Corrosion des véhicules
- Coûts sociaux en cas d'un service hivernal de moindre qualité
- Pertes de l'économie

---

<sup>4</sup> Source : données de l'entreprise Boschung Mecatronic SA (année : 1994)

## 7.4 Critères NISTRA

La méthode d'évaluation NISTRA [12] a été développée par l'OFROU pour intégrer les critères relatifs au développement durable. La méthode se base sur une série d'objectifs et de critères et est prévue pour être utilisée dans le cadre de projets de route de grande envergure. La mise en place d'une IAD ne demande pas le même niveau d'analyse et certains critères peuvent donc être écartés.

Ce chapitre isole les critères NISTRA qui sont intéressants dans le cadre d'une IAD et du service hivernal. La liste complète des objectifs et des critères se trouve en annexe.

G21	Protéger la santé et le bien-être des êtres humains	G211	Accidents
		G212	Victimes d'accidents (blessées et décédées)
G25	Répartir équitablement les coûts et les avantages	G251	Coûts du point de vue du décideur
		G252	Utilité nette du point de vue du décideur
W11	Minimiser les coûts directs du projet (coûts annuels)	W111	Coûts annuels du capital
		W112	Frais d'exploitation
		W113	Frais d'entretien
W12	Maximiser les avantages directs du projet (avantages annuels)	W121	Modification de la durée du trajet pour le transport de personnes dans la région
		W122	Modification de la durée du trajet pour le transport de marchandises dans la région
		W123	Modification des coûts fixes liés aux véhicules pour le trafic commercial et le transport de marchandises
		W124	Modification des coûts variables liés aux véhicules pour le transport de personnes et de marchandises
		W125	Risques d'embouteillage / temps de réserve
U11	Réduire les polluants		Consommation en sel

#### 7.4.1 Les indicateurs dans le détail

Dans la suite figure la description détaillée des critères NISTRA qui sont intéressants pour l'étude d'une IAD. Cette description, ainsi que les chiffres indiqués sont copiés du rapport principal [16].

##### 7.4.1.1 G 211 : Accidents

<b>Unité</b>	Nombre / an
<b>Valeurs par expérience</b>	CHF 42'500 / accident

##### 7.4.1.2 G 212 : Victimes d'accidents (blessées et décédées)

<b>Unité</b>	Personnes / an
<b>Valeurs par expérience</b>	CHF 342'000 / victime d'accident

##### 7.4.1.3 G 251 : Coûts du point de vue du décideur

Cet indicateur n'apporte que peu au développement durable, car il s'agit simplement de déterminer la répartition des coûts entre différentes sources de financement. Pour le décideur, en général le canton, il peut être intéressant de connaître sa part de l'investissement.

<b>Données</b>	Répartition des coûts entre les différents acteurs (Confédération, canton, commune)
<b>Unité</b>	Pourcentage

##### 7.4.1.4 G 252 : Utilité nette du point de vue du décideur

Comme pour le précédent, cet indicateur ne fait que répartir l'utilité nette entre les différents acteurs. Il n'est pas nécessaire pour l'évaluation d'un projet, mais il apporte au décideur une vue plus complète de la situation.

<b>Données</b>	Utilité nette du projet
<b>Unité</b>	Pourcentage
<b>Evaluation / Calcul</b>	Utilité nette = Somme des avantages – Coûts

##### 7.4.1.5 W 111 : Coûts annuels du capital

<b>Données</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frais de construction</li> <li>- Période d'amortissement pour chaque domaine</li> <li>- Choix d'un taux d'escompte réel</li> </ul>	
<b>Unité</b>	CHF / an	
<b>Valeurs par expérience</b>	- Période d'amortissement :	10 à 25 ans
	- Taux d'escompte :	2,5 %

##### 7.4.1.6 W 112 : Frais d'exploitation

<b>Données</b>	- Frais d'exploitation
<b>Unité</b>	CHF / an

#### 7.4.1.7 W 113 : Frais d'entretien

<b>Données</b>	- Frais d'entretien
<b>Unité</b>	CHF / an

#### 7.4.1.8 W 121 : Modification de la durée du trajet pour le transport de personnes dans la région

Dans le cas présent des IAD, cet indicateur, comme les trois suivants, n'est applicable que lors d'un événement hivernal qui nécessite l'intervention du service d'entretien. Il faut donc déterminer le nombre d'heures par année qui présentent un risque de ce genre.

<b>Données</b>	- Nombre d'heures par année qui nécessitent une intervention - Trafic
<b>Unité</b>	Personnes-heures / an
<b>Evaluation / Calcul</b>	- Calcul de l'utilité pour le trafic existant (diminution des temps de parcours lors d'un événement hivernal) - Calcul de l'utilité pour le trafic induit (le cas échéant), car une route plus sûre peut attirer du trafic
<b>Valeurs par expérience</b>	- Trafic pendulaire : CHF 25 / pers.-h - Trafic pour les achats et les loisirs : CHF 10 / pers.-h - Trafic commercial : CHF 100 / pers.-h - Moyenne pondérée : CHF 27 / pers.-h

#### 7.4.1.9 W 122 : Modification de la durée du trajet pour le transport de marchandises dans la région

Voir aussi les remarques ci-dessus (chap. 7.4.1.8)

<b>Données</b>	- Nombre d'heures par année qui nécessitent une intervention - Trafic marchandises
<b>Unité</b>	Personnes-heures / an
<b>Evaluation / Calcul</b>	Similaire au cas précédent (7.4.1.8)
<b>Valeurs par expérience</b>	CHF 100 / pers.-h

#### 7.4.1.10 W 123 : Modification des coûts fixes liés aux véhicules pour le trafic commercial et le transport de marchandises

Voir aussi les remarques ci-dessus (chap. 7.4.1.8). Un niveau de service plus élevé permet une meilleure gestion de flotte.

<b>Données</b>	- Heures économisées (7.4.1.8 et 7.4.1.9) - Taux d'occupation moyens
<b>Unité</b>	Heures d'engagement annuelles
<b>Evaluation / Calcul</b>	
<b>Valeurs par expérience</b>	- Trafic commercial : CHF 1.80 / véh.-h - Transport de marchandises : CHF 5.80 / camion-h

#### **7.4.1.11 W 124 : Modification des coûts variables liés aux véhicules pour le transport de personnes et de marchandises**

Voir aussi les remarques ci-dessus (chap. 7.4.1.8).

**Données**

**Unité** Véhicules-kilomètres ou litres / an

**Evaluation / Calcul**

**Valeurs par expérience**

- Voitures (sans le carburant) : CHF 0.18 / véh.-km
- Transport de marchandises (s.c.) : CHF 0.41 / véh.-km
- Carburant (sans taxes ni impôts) : CHF 0.50 / litre

#### **7.4.1.12 W 125 : Risques de congestion / temps de réserve**

Le risque de congestion augmente en cas d'événement hivernal. Ce n'est donc uniquement pour ces cas que l'indicateur est valable.

**Données**

- Degré de qualité normal
- Degré de qualité en cas d'événement hivernal

**Unité** Coefficient

**Evaluation / Calcul**  $\text{Points} = 0,5 \times (\text{part du degré D}) + 1,0 \times (\text{part du degré E}) + 1,5 \times (\text{part du degré F})$

#### **7.4.1.13 Consommation de sel**

**Données** - Consommation de sel

**Unité** Tonnes de sel / an

## 8 Méthode d'analyse proposée

Les expériences et méthodes décrites aux chapitres précédentes montrent qu'une méthode d'analyse spécifique aux IAD et adaptée au contexte suisse est encore à développer et proposer.

Dans ce chapitre sera présentée la méthode proposée pour l'évaluation de l'implantation d'un système automatique de déverglaçage, y compris la description des critères utilisés pour la comparaison.

### 8.1 Présentation de la méthode d'analyse

La méthode d'analyse est réalisée en deux étapes (Figure 7). D'abord, un examen d'opportunité est effectuée, qui vérifie la nécessité de rentrer en matière. Elle est suivie du choix de variantes, afin de déterminer le projet le mieux adapté à l'endroit en question. Ces deux étapes sont décrites de manière plus précise dans la suite.

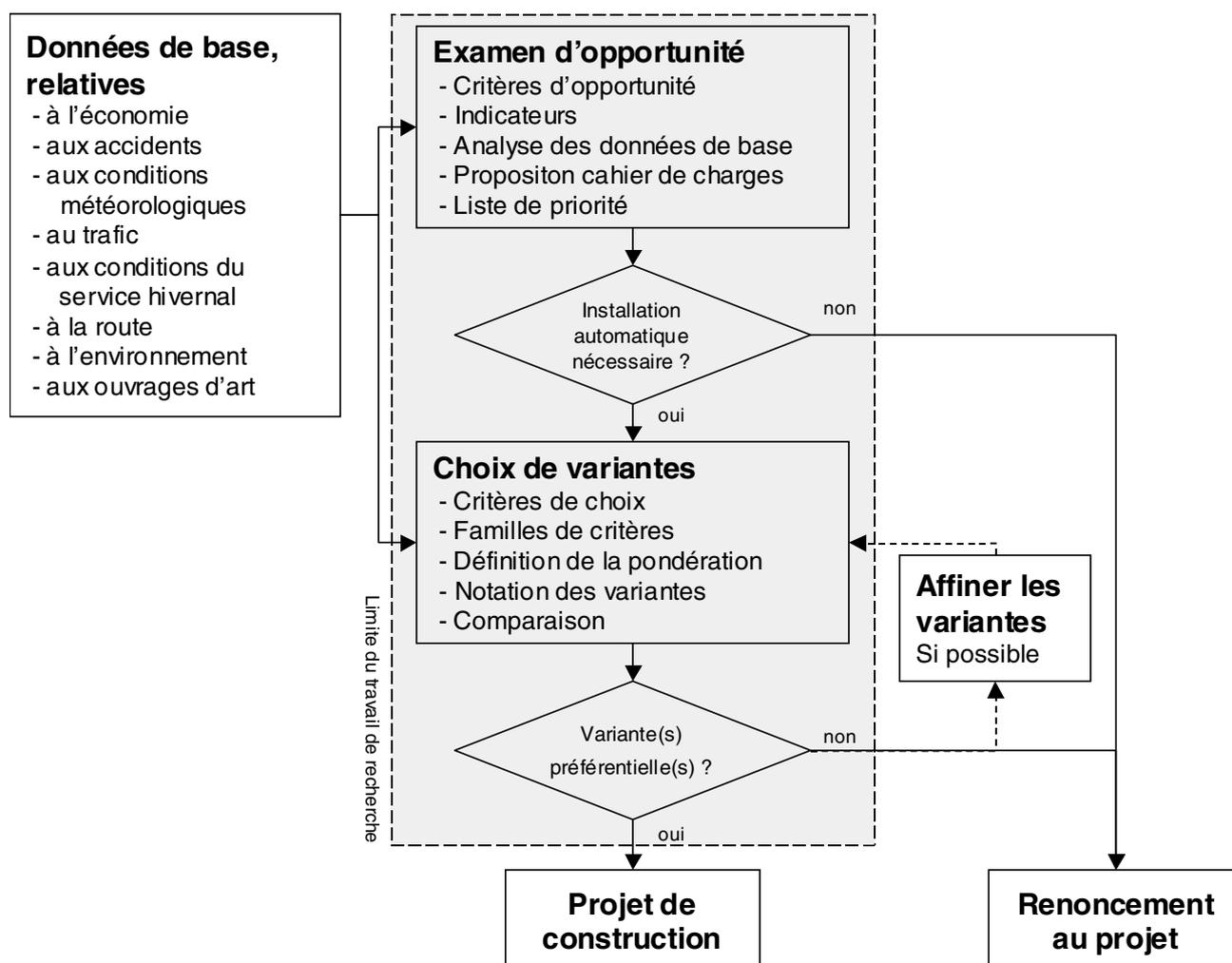


Figure 7 : Marche à suivre de la méthode proposée

## **8.2 Examen d'opportunité du projet**

### **8.2.1 Généralités**

Un examen d'opportunité du projet consiste à vérifier si l'impulsion à l'élaboration du projet est fondée. Le débat qui est ainsi ouvert a pour but de donner au décideur une vue d'ensemble des conséquences de la réalisation du projet. La faisabilité ou les aspects financiers du projet ne sont pas traités dans cette première étape car ils sont admis à ce stade comme n'étant pas déterminants [11].

Le résultat de cet examen d'opportunité est de savoir si une IAD est justifiée ou non sur la base d'un examen sommaire « non mathématique ». En même temps il est possible d'élaborer, sur la même base, le cahier des charges qui définit les objectifs et les contraintes du futur projet. En plus, il est possible d'établir une liste de priorité, si le maître d'ouvrage doit analyser différents projets potentiels.

Malgré la nature non mathématique de cette première étape, un certain nombre d'indicateurs d'opportunité sont évalués en francs suisses. Cette évaluation ne rentre pourtant pas dans une évaluation coût/bénéfice, mais sert plutôt à la comparaison à des valeurs moyennes pour d'autres tronçons soit en Suisse, dans un canton ou dans le voisinage du tronçon étudié.

Les mêmes critères doivent être applicables pour le cas d'une route existante comme pour une route projetée. Par contre, pour la dernière, il n'y a pas d'informations historiques à disposition et certains critères d'opportunité ne peuvent pas être évalués. Le Tableau 2 montre le cas d'application des critères.

### **8.2.2 Critères d'opportunité proposés**

Le tableau suivant (Tableau 2) présente les critères d'opportunité proposés, ainsi que les indicateurs utilisés pour leur évaluation. Une description plus détaillée des indicateurs d'opportunité est donnée dans la suite de ce chapitre. Il est également indiqué si l'évaluation doit être effectuée pour une route nouvelle (N) ou bien une route existante (E). La procédure cherche à répondre à la question si – pour l'indicateur donné – une étude de mesures alternatives (la mise en place d'une IAD dans le cas présent) est superflue, à discuter ou nécessaire.

Concernant les sources d'informations potentielles pour des routes existantes, il est conseillé d'avoir recours à l'expérience des différents services qui travaillent tous les jours sur ces routes. Leur savoir-faire et les connaissances des caractéristiques de la région constituent un soutien important à l'élaboration de l'étude d'opportunité.

Critère d'opportunité	Indicateur	Cas d'application	
		N	E
Accidents en conditions de verglas	Fréquence		X
	Gravité		X
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale	X	X
	Conditions spécifiques	X	X
	Rapidité de modification des conditions	(X)	X
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien	(X)	X
	Perturbation du service hivernal par le trafic		X
	Personnel et matériel d'entretien		X
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau	X	X
	Volume et structure du trafic	(X)	X
	Risque acceptable : fréquence et durée du risque de verglas	X	X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique	X	X
	Sensibilité pédologique	X	X
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel		X
	Dispersion du sel		X
Géométrie de la route	Sinuosité	X	X
	Déclivité	X	X
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art	X	X
	Revêtement	X	X
Nouvelles technologies	Impulsion pour l'utilisation de nouvelles technologies	X	X

**Tableau 2 : Liste des critères et indicateurs proposés pour l'examen d'opportunité**

### 8.2.2.1 Fréquence des accidents en conditions de verglas

<b>Explication</b>	Chaque accident constitue une gêne pour le trafic. Le nombre d'accidents sur chaussée verglacée constitue donc un indicateur important. On ne tient compte que des accidents sur verglas, parce que les IAD sont précisément utiles dans ces conditions.
<b>Unité</b>	Accidents / (mio véh•km•an)
<b>Données nécessaires</b>	Nombre d'accidents à cause hivernale, trafic pendant la période étudiée
<b>Sources potentielles</b>	La police dispose de statistiques d'accidents détaillées. Depuis 1995, les fiches d'accident sont uniformisées par l'Office fédéral de la statistique et la police peut fournir les détails nécessaires. Le trafic est déterminé à partir de comptages ou de prévisions.

**Evaluation / Calcul** Il est possible de classer les accidents selon l'état de la chaussée, décrit par la police sur le constat d'accident. En prenant les données de plusieurs années, une estimation du risque d'accident pendant les mois d'hiver peut être donnée. En plus, des endroits à haut risque de verglas peuvent être isolés.

Evaluation :

superflue	nécessaire
La fréquence d'accidents ne nécessite pas un changement de stratégie du service hivernal	La fréquence d'accidents nécessite un changement de stratégie du service hivernal

**Remarques** La météo ne reste pas constante chaque hiver, des grandes différences peuvent apparaître lors de la comparaison. Une analyse météorologique (voir critère « Rudesse hivernale ») doit aider à comprendre ces écarts.

Les statistiques d'accident ne tiennent pas compte des cas dans lesquels la police n'intervient pas (p.ex. rapport préalable). Les assurances peuvent éventuellement donner des informations à ce sujet.

### 8.2.2.2 Coût social des accidents en conditions de verglas

**Explication** La gravité d'un accident dépend des blessures des personnes impliquées, souvent transformées en coût social.

**Unité** Coût social / an

**Données nécessaires** Structure des accidents à cause hivernale, coût social par type d'accident

**Sources potentielles** La police dispose de statistiques d'accidents détaillées. Depuis 1995, les fiches d'accident sont uniformisées par l'Office fédéral de la statistique et la police peut fournir les détails nécessaires. Les coûts sociaux par accident sont définis par la norme suisse [17].

**Evaluation / Calcul** Il est possible de classer les accidents selon l'état de la chaussée, décrit par la police sur le constat d'accident. Ainsi, on peut isoler les endroits à risque élevé d'accident grave.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le niveau des coûts sociaux ne suggère pas un changement de stratégie du service hivernal	Le niveau des coûts sociaux suggère un changement de stratégie du service hivernal

**Remarques** En raison de la variabilité du climat hivernal, une correction est à effectuer par le biais d'une analyse météorologique (voir critère « rudesse hivernale »).

Des accidents graves étant en général très rares, on n'en trouve souvent qu'un très petit nombre sur un tronçon donné. Il est donc nécessaire d'analyser en détail ces données tout en gardant en mémoire la faible représentativité de ces statistiques.

### 8.2.2.3 Rudesse hivernale

**Explication** Il convient de décrire les conditions hivernales locales à l'aide d'un indicateur. Cet indicateur montre l'exposition du tronçon considéré aux conditions hivernales, mais il peut également servir d'élément de comparaison entre les différents hivers. En effet, les conditions météorologiques n'étant pas les mêmes chaque année, il peut avoir plus ou moins de risque de verglas et de chutes de neige d'une année à l'autre. Il est donc proposé d'utiliser un indicateur de « rudesse hivernale » qui quantifie les heures de risque avec possibilité de chute de neige ou de formation de verglas.

**Unité** Heures de risque / an

**Données nécessaires** Données météorologiques horaires :

- Température de l'air
- Précipitations (Pluie, neige)
- Humidité relative

**Sources potentielles** Le service MétéoSuisse dispose de plusieurs stations météo, dont les données peuvent être obtenues agrégées à l'heure. Souvent, les services d'entretien disposent également de quelques stations le long du réseau routier.

**Evaluation / Calcul** Une heure de mesure peut être considérée comme « heure à risque » si au moins une des deux conditions suivantes est applicable :

- La température de l'air est inférieure à 5°C et le niveau de précipitation n'est pas nul
- La température de l'air est inférieure à 5°C et l'humidité relative est supérieure à 75 %

La somme de ces heures à risque est qualifiée de « rudesse hivernale ».

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon étudié ne présente que très peu d'heures de risque	Le tronçon étudié se situe dans une zone avec beaucoup d'heures de risque

**Remarques** Ce paramètre n'a pas la prétention de prédire de manière précise le nombre d'heures par hiver où la chaussée du tronçon est soumise à un risque d'importante diminution d'adhérence, mais plutôt de fournir une valeur permettant de comparer les conditions météorologiques entre les périodes hivernales analysées et entre différentes régions. Il est parfois difficile de trouver une station météorologique adéquate à proximité immédiate.

Selon un travail de recherche récent [18], il est possible de trouver une corrélation entre certaines données météorologiques et les coûts du service hivernal pour une région donnée.

#### 8.2.2.4 Conditions spécifiques

**Explication** L'humidité relative de l'air peut être fortement influencée par l'environnement local. Il peut exister des sources d'humidité, p.ex. de la végétation, un cours d'eau, une tour de refroidissement, etc., à proximité du tronçon routier étudié. Ces conditions particulières peuvent être prises en compte lors de l'étude d'implantation.

**Unité** Descriptif

**Données nécessaires** Présence d'une ou de plusieurs sources d'humidité

**Sources potentielles** La meilleure vision est probablement obtenue par une visite sur place. Les surfaces de forêt peuvent également être distinguées sur des plans et des cartes. Le cas échéant, des stations de mesure, placées à différentes distances de la source d'humidité possible, peuvent témoigner du niveau d'humidité relative.

**Evaluation / Calcul** Ce critère ne peut pas être calculé ou chiffré. Un descriptif de la situation ou des expériences faites dans la région est à établir.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Les conditions locales ne présentent aucun danger supplémentaire pour la formation de verglas	Les conditions locales présentent un danger supplémentaire considérable pour la formation de verglas

**Remarques** Ce critère peut également prendre en compte les zones de cumul de neige (créé de manière naturelle ou par le déneigement), de brouillard ou de forte différence de température, etc.

#### 8.2.2.5 Rapidité de modification des conditions météorologiques

**Explication** L'utilisateur de la route peut être surpris par un changement rapide des conditions météorologiques. Cet indicateur tient compte de la sensibilité à ces changements de la région étudiée.

**Unité** Descriptif

**Données nécessaires** Données météorologiques détaillées, le gradient de température est particulièrement intéressant

**Sources potentielles** Le service MétéoSuisse dispose de plusieurs stations météo, dont les données peuvent être obtenues agrégées à l'heure. Souvent, les services d'entretien disposent également de quelques stations le long du réseau routier. Dans le cas présent, il est éventuellement possible de profiter de l'expérience du personnel d'entretien.

**Evaluation / Calcul** Les données peuvent montrer des tendances de changement rapide des conditions météorologiques.

Evaluation :

superflue	nécessaire
La rapidité des conditions ne présente aucun danger supplémentaire pour la formation de verglas	La rapidité des conditions présente un danger supplémentaire considérable pour la formation de verglas

### 8.2.2.6 Distance au centre d'entretien

**Explication** La rapidité de l'intervention est très important pour un service hivernal efficace. La distance du centre d'entretien au tronçon considéré est déterminante pour la rapidité d'intervention. La norme suisse [19] définit les temps d'intervention maximaux. Les conditions spécifiques d'un tronçon peuvent rendre impossible le respect de ces limites.

**Unité** Minutes

**Données nécessaires** Temps d'intervention

**Sources potentielles** Le service d'entretien dispose en général de ce genre d'information que ce soit par expérience ou par la planification théorique des itinéraires. Sinon, (pour une route nouvelle, p.ex.) une estimation du temps de parcours sous conditions hivernales doit être faite.

**Evaluation / Calcul** Le temps d'intervention peut être utilisé tel quel, un temps plus court étant évidemment plus avantageux.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le service hivernal est effectué de manière satisfaisante dans un délai convenable	Le service hivernal ne peut pas être effectué de manière satisfaisante dans un délai convenable

### 8.2.2.7 Perturbation du service hivernal par le trafic lors de l'évènement

**Explication** Le service hivernal est plus difficile en cas de volume de trafic élevé, car les véhicules du service d'entretien sont gênés par le trafic. En plus, les risques d'accident et de congestion lors d'un événement hivernal (formation de verglas, chute de neige, neige fondante, etc.) augmentent proportionnellement avec le volume de trafic. Une IAD fonctionne indépendamment du volume du trafic, un giclage étant toujours possible, même en cas de congestion ou de trafic ralenti.

**Unité** Véhicules / heure

**Données nécessaires** Comptages de trafic ou prévisions

**Sources potentielles** L'OFROU dispose de compteurs automatiques sur le réseau routier suisse, certains cantons effectuent parfois des comptages supplémentaires automatiques ou manuels. Il peut être nécessaire d'effectuer des comptages spécifiques sur le tronçon étudié. Pour une route nouvelle, il faut prendre la charge de trafic planifiée.

**Evaluation / Calcul** Le volume de trafic est utilisé tel quel.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le service hivernal du tronçon n'est pas gêné par le trafic	Le service hivernal est fortement perturbé par le trafic, essentiellement en cas de verglas

### 8.2.2.8 Personnel et matériel d'entretien

<b>Explication</b>	Il est éventuellement possible de réduire (ou de ne pas être obligé d'augmenter) le nombre d'effectifs du service d'entretien. Souvent des entreprises privées sont mandatées pour effectuer le service hivernal sur des tronçons donnés avec leur propre matériel et personnel. Une moyenne des coûts élevée informe sur la nécessité d'un changement de stratégie de la maintenance.
<b>Unité</b>	CHF / an (et km)
<b>Données nécessaires</b>	Coût annuel du matériel et du personnel utilisé pour le service hivernal.
<b>Sources potentielles</b>	Le service d'entretien dispose des données détaillées et du savoir-faire pour pouvoir estimer les sommes investies dans le service hivernal.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Il est important de connaître les coûts annuels du service hivernal. En les rapportant au nombre de kilomètres du réseau, il est possible de les comparer à d'autres tronçons routiers.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Les coûts annuels se trouvent en dessous de la moyenne suisse	Les coûts annuels sont importants

### 8.2.2.9 Position hiérarchique au sein du réseau

<b>Explication</b>	La norme suisse [19] définit différents degrés d'urgence pour la lutte contre le verglas et la neige selon l'importance de la route. Les routes à grand débit doivent être dégagées plus rapidement que des liaisons locales.
<b>Unité</b>	Niveau d'importance
<b>Données nécessaires</b>	Classement des routes
<b>Sources potentielles</b>	Chaque canton dispose d'une liste de ses routes, ainsi que de leur importance dans le réseau.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Les routes à importance plus haute sont à traiter en priorité.

Evaluation :

superflue	nécessaire
L'importance faible de la route ne justifie pas une étude plus approfondie	L'importance de la route est telle qu'une étude approfondie doit être envisagée

### 8.2.2.10 Volume et structure du trafic

<b>Explication</b>	Le trafic décrit l'importance d'une route d'une autre manière, plutôt du point de vue de l'utilisateur. Un service hivernal efficace est indispensable pour une route à débit élevé.
<b>Unité</b>	Véhicules / heure
<b>Données nécessaires</b>	Comptages de trafic, prévisions
<b>Sources potentielles</b>	L'OFROU dispose de quelques compteurs automatiques sur le réseau routier suisse, certains cantons effectuent parfois des comptages supplémentaires automatiques ou à la main. Il peut être nécessaire d'effectuer des comptages spécifiques sur le tronçon étudié. Pour une route nouvelle, il faut prendre la charge de trafic planifiée.

**Evaluation / Calcul** Le volume de trafic est utilisé tel quel, un volume élevé étant moins favorable au service hivernal traditionnel.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le trafic faible de la route ne justifie pas une étude plus approfondie	Le trafic important de la route est tel qu'une étude approfondie doit être envisagée

### 8.2.2.11 Risque acceptable : fréquence et durée du risque de verglas

**Explication** Le risque zéro n'existe pas. Les autorités décident du risque « acceptable » au niveau de la fréquence et la durée des périodes de verglas.

**Unité** Heures / an

**Données nécessaires** Descriptif

**Sources potentielles** Administration et autorités cantonales

**Evaluation / Calcul** Evaluation :

superflue	nécessaire
On peut facilement admettre un certain nombre d'heures pendant lesquelles le risque de verglas est accepté	On ne peut pas admettre de risque de verglas sur le tronçon de route

### 8.2.2.12 Sensibilité hydrogéologique

**Explication** Il est important de connaître la sensibilité aux agents de déverglage des zones aux alentours du tronçon de route étudié, particulièrement les nappes souterraines et les cours d'eau. La consommation de sel d'une IAD est en général inférieure à celle du service hivernal traditionnel.

**Unité** Descriptif

**Données nécessaires** Descriptif

**Sources potentielles** Service spécialisé

**Evaluation / Calcul** Evaluation :

superflue	nécessaire
La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage	La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite

### 8.2.2.13 Sensibilité pédologique

**Explication** Il est important de connaître la sensibilité aux agents de déverglage des zones aux alentours du tronçon de route étudié. La consommation de sel d'une IAD est en général inférieure que celle du service hivernal traditionnel.

**Unité** Descriptif

<b>Données nécessaires</b>	Descriptif				
<b>Sources potentielles</b>	Service spécialisé				
<b>Evaluation / Calcul</b>	Evaluation :				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">superflue</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">nécessaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage</td> <td>La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite</td> </tr> </tbody> </table>	superflue	nécessaire	La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage	La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite
superflue	nécessaire				
La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage	La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite				

#### 8.2.2.14 Quantité de sel

<b>Explication</b>	L'application d'une quantité importante de sel peut être un indicateur de conditions hivernales difficiles.
<b>Unité</b>	Tonnes / an
<b>Données nécessaires</b>	Quantités de sel dispersées sur le tronçon étudié chaque année ou par période hivernale.
<b>Sources potentielles</b>	Le service d'entretien conserve en général une liste détaillée des quantités de sel utilisées.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Si les quantités exactes du tronçon étudié ne sont pas connues, un calcul de prorata doit être effectué. Evaluation :

superflue	nécessaire
La consommation de sel est de loin inférieure que la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.	La consommation dépasse largement la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.

#### 8.2.2.15 Dispersion du sel

<b>Explication</b>	Les agents de déverglage peuvent être défavorables à la structure des ouvrages d'art. Il est important de répertorier les zones sensibles au sel.
<b>Unité</b>	Descriptif
<b>Données nécessaires</b>	Une liste des ouvrages d'art sur le tronçon étudié, y compris une description des risques de corrosion.
<b>Sources potentielles</b>	Les autorités disposent des plans d'exécution de la route et des ouvrages d'art, sur lesquels il est possible d'identifier l'emplacement et les risques de corrosion de chaque ouvrage. Le service d'entretien peut éventuellement témoigner d'accumulations d'eau ou de saumure sur les ouvrages en place.

**Evaluation / Calcul** Les modèles de dispersion de sel sont très rares et il s'agit souvent d'approximations simples. Il peut s'avérer nécessaire de demander conseil à des spécialistes, afin de pouvoir juger des risques de corrosion.

Evaluation :

superflue	nécessaire
La dispersion du sel est telle qu'elle ne pose pas de problème au niveau des ouvrages d'art	La dispersion du sel constitue un danger pour l'ouvrage en place

**Remarques** L'identification des endroits sensibles au gel peut conduire à un catalogue de mesures à prendre lors de l'installation d'une IAD ou, le cas échéant, lors d'une rénovation de l'ouvrage d'art.

### 8.2.2.16 Sinuosité de la route

**Explication** Tout changement de direction s'avère plus difficile sous conditions hivernales. La sinuosité de la route joue donc un rôle important dans la détermination du risque d'accident.

**Unité** Coefficient

**Données nécessaires** Le nombre de virages, leurs rayons de courbure et la longueur totale du tronçon.

**Sources potentielles** L'administration dispose des plans d'exécution, sur lesquels le tracé en plan et les informations relatives aux courbures sont indiquées.

**Evaluation / Calcul** Le coefficient de sinuosité se calcule de la manière suivante [20, 21]

$$C_S = \sum \frac{|\alpha_i|}{L_i}$$

avec :  $\alpha_i$  : changement de direction dans un élément de tracé (pour une droite :  $\alpha_i = 0$ ), exprimé en gon

$L_i$  : longueur de l'élément de tracé en kilomètres

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon de route n'a que très peu de virages (coefficient de sinuosité faible)	Le tronçon de route étudié est très sinueux (coefficient de sinuosité élevé)

### 8.2.2.17 Déclivité de la route

**Explication** Les déclivités peuvent rendre plus difficile la conduite sous conditions hivernales. Les poids lourds sont particulièrement sensibles aux déclivités, que ce soit en rampe ou en pente.

**Unité** Coefficient

**Données nécessaires** Proportion et importance des déclivités, ainsi que la longueur totale du tronçon.

**Sources potentielles** L'administration dispose des plans d'exécution, sur lesquels le profil en long et les informations relatives aux déclivités sont indiquées.

**Evaluation / Calcul** Le coefficient de déclivité se calcule de la manière suivante [20, 22] :

$$C_R = \frac{\sum |d_i|}{L}$$

avec :  $d_i$  : différence d'altitude entre deux sommets verticaux en mètres

L : longueur du tronçon en kilomètres

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon de route présente un coefficient de déclivité faible	Le tronçon de route a beaucoup et de longues déclivités

### 8.2.2.18 Proportion d'ouvrages d'art

**Explication** Les ouvrages d'art, les ponts en particulier, sont en général plus sensibles à la création du verglas due aux conditions hivernales. Leur inertie thermique est moins grande et l'apport thermique du sol est interrompu.

Il est utile de distinguer le type d'ouvrage : Les ponts caisson sont moins sensibles au froid que les ponts mixtes ou surtout que les ponts poutre.

**Unité** Pourcentage

**Données nécessaires** Longueur totale des ouvrages et du tronçon complet

**Sources potentielles** L'autorité cantonale dispose des données nécessaires au niveau du réseau routier.

**Evaluation / Calcul** Il s'agit d'établir le rapport entre la longueur totale des ouvrages d'art et la longueur du tronçon étudié.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon de route n'a pas ou que très peu d'ouvrages d'art	Le tronçon de route a plusieurs ponts, surtout du type de pont poutre

### 8.2.2.19 Type de revêtement

**Explication** Le type de revêtement peut influencer de manière importante le service hivernal. Un revêtement drainant, par exemple, nécessite un épandage plus important de par ses capacités d'évacuation de l'eau (et ainsi de la saumure ; 40 % de plus). En plus, l'état du revêtement détermine sa qualité antidérapante.

**Unité** Descriptif

**Données nécessaires** Type, structure et état du revêtement

**Sources potentielles** Le service des routes dispose des informations nécessaires au niveau du type, de la structure et de l'état du revêtement routier du tronçon étudié.

**Evaluation / Calcul**

Les capacités de drainage et de l'adhérence du revêtement sont décrites, afin de pouvoir définir le besoin en épandage.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le revêtement est incompatible avec une IAD et son remplacement n'est pas envisagé	Le type de revêtement est beaucoup plus facile à traiter avec une IAD qu'avec le service hivernal traditionnel

**8.2.2.20 Impulsion pour l'utilisation de nouvelles technologies**

**Explication**

L'administration routière souhaite s'adapter et utiliser les technologies nouvelles

**Unité**

Descriptif

**Evaluation / Calcul**

Evaluation :

superflue	nécessaire
La volonté d'innovation est très limitée au sein de l'administration	L'administration montre une grande volonté d'innovation

### 8.2.3 Application de la méthode proposée

Les exemples suivants montrent l'application de l'examen d'opportunité. Seul l'exemple de la A12 se base sur une étude plus approfondie des critères d'opportunité. Les autres constituent une estimation du LAVOC, basée sur la connaissance des lieux et des entretiens avec des spécialistes de la région concernée.

#### 8.2.3.1 Aigues-Vertes

Ce premier exemple présente les résultats pour le pont d'Aigues-Vertes à Genève (voir description au chapitre 5.2.1). Il s'agit d'une route nouvelle, le tableau n'est donc pas complet.

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
<b>Accidents en conditions hivernales</b>	Fréquence			
	Gravité			
<b>Conditions météorologiques locales</b>	Rudesse hivernale		X	
	Conditions spécifiques			X
	Rapidité de modification des conditions			X
<b>Difficulté d'exploitation hivernale</b>	Distance au centre d'entretien	X		
	Perturbation par le trafic lors de l'événement			
	Personnel et matériel			
<b>Fonction de la route</b>	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic		X	
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
<b>Zone de sensibilité écologique</b>	Sensibilité hydrogéologique			X
	Sensibilité pédologique	X		
<b>Protection des ouvrages d'art</b>	Quantité de sel			
	Dispersion			
<b>Géométrie</b>	Sinuosité	X		
	Déclivité	X		
<b>Environnement routier</b>	Proportion d'ouvrages d'art			X
	Revêtement	X		
<b>Nouvelles technologies</b>	Impulsion		X	

Selon les informations à disposition, le service hivernal traditionnel peut s'avérer critique pour l'ouvrage en question. L'état de Genève a choisi d'équiper le pont avec une IAD, ce que nous jugeons judicieux en vue des conditions locales spécifiques et l'importance de la route.

### 8.2.3.2 Contournement de Lausanne

Le deuxième exemple montre celui de l'autoroute de contournement de Lausanne, comme décrit au chapitre 5.2.2.

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	Mesures alternatives		
		superflue	à discuter	nécessaire
Accidents en conditions hivernales	Fréquence		X	
	Gravité		X	
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale		X	
	Conditions spécifiques			X
	Rapidité de modification des conditions		X	
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien	X		
	Perturbation par le trafic lors de l'événement			X
	Personnel et matériel		X	
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic			X
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique		X	
	Sensibilité pédologique	X		
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel	X		
	Dispersion	X		
Géométrie	Sinuosité		X	
	Déclivité			X
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art	X		
	Revêtement	X		
Nouvelles technologies	Impulsion		X	

Les problèmes à Lausanne se trouvent essentiellement au niveau de l'exploitation, car les congestions ont un effet néfaste sur la vie économique de l'agglomération (c.f. [5]). En plus, ces congestions empêchent le service d'entretien de travailler de manière efficace. Sur le contournement est installée une IAD continue de 8 km de long, qui à ce stade de l'évaluation apparaît comme nécessaire.

### 8.2.3.3 Flamatt

Un accident très grave, ainsi que des problèmes de verglas fréquents ont donné l'impulsion d'analyser le viaduc de Flamatt (description au chapitre 5.2.3).

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	Mesures alternatives		
		superflue	à discuter	nécessaire
Accidents en conditions hivernales	Fréquence		X	
	Gravité			X
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale		X	
	Conditions spécifiques			X
	Rapidité de modification des conditions			X
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien			X
	Perturbation par le trafic lors de l'événement	X		
	Personnel et matériel	X		
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau		X	
	Volume et structure du trafic	X		
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique	X		
	Sensibilité pédologique	X		
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel		X	
	Dispersion		X	
Géométrie	Sinuosité	X		
	Déclivité			X
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art			X
	Revêtement	X		
Nouvelles technologies	Impulsion		X	

Selon les informations à disposition, la mise en place de l'IAD est justifiée au niveau de la sécurité routière et des conditions particulières de l'ouvrage.

### 8.2.3.4 A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projet)

Le service des routes du canton de Vaud a fait analyser de façon plus précise le service hivernal sur le tronçon de la A12 entre Vevey et Châtel-St-Denis. Ce projet a servi d'exemple d'application pratique du présent travail de recherche et une description succincte figure plus loin (chapitre 8.3.4).

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
<b>Accidents en conditions hivernales</b>	Fréquence			X
	Gravité			X
<b>Conditions météorologiques locales</b>	Rudesse hivernale			X
	Conditions spécifiques		X	
	Rapidité de modification des conditions			X
<b>Difficulté d'exploitation hivernale</b>	Distance au centre d'entretien			X
	Perturbation par le trafic lors de l'événement		X	
	Personnel et matériel		X	
<b>Fonction de la route</b>	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic		X	
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement		X	
<b>Zone de sensibilité écologique</b>	Sensibilité hydrogéologique	X		
	Sensibilité pédologique	X		
<b>Protection des ouvrages d'art</b>	Quantité de sel		X	
	Dispersion		X	
<b>Géométrie</b>	Sinuosité			X
	Déclivité			X
<b>Environnement routier</b>	Proportion d'ouvrages d'art		X	
	Revêtement		X	
<b>Nouvelles technologies</b>	Impulsion			X

Le service hivernal traditionnel est visiblement inadapté sur le tronçon étudié. Par contre, la plupart des problèmes sont plutôt liés à la neige qu'au verglas (accidents, exploitation,...). Dans ce cas, une IAD sur tout le tronçon n'est pas forcément l'outil le mieux adapté. Une analyse plus profonde est nécessaire.

### 8.2.3.5 Traversée de Morges

Cet exemple montre un cas d'un tronçon où aucune IAD n'est construite, à titre de comparaison.

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
<b>Accidents en conditions hivernales</b>	Fréquence	X		
	Gravité		X	
<b>Conditions météorologiques locales</b>	Rudesse hivernale	X		
	Conditions spécifiques	X		
	Rapidité de modification des conditions	X		
<b>Difficulté d'exploitation hivernale</b>	Distance au centre d'entretien		X	
	Perturbation par le trafic lors de l'événement			X
	Personnel et matériel		X	
<b>Fonction de la route</b>	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic			X
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
<b>Zone de sensibilité écologique</b>	Sensibilité hydrogéologique	X		
	Sensibilité pédologique	X		
<b>Protection des ouvrages d'art</b>	Quantité de sel	X		
	Dispersion	X		
<b>Géométrie</b>	Sinuosité	X		
	Déclivité	X		
<b>Environnement routier</b>	Proportion d'ouvrages d'art		X	
	Revêtement	X		
<b>Nouvelles technologies</b>	Impulsion		X	

On peut rapidement remarquer que - selon les informations à disposition - un changement de stratégie de service hivernal n'est pas nécessaire. Le risque de perturbations et d'accidents lors d'un événement de verglas n'est que très faible. Ce tronçon ne nécessite pas actuellement d'être équipé d'une installation automatique de déverglaçage.

### 8.2.4 Propositions

L'examen d'opportunité est un instrument facile à utiliser. Elle peut être réalisée directement par les autorités concernées. Il est envisageable de mandater un bureau d'études pour les études de base nécessaires pour l'analyse des indicateurs. Ces études de base peuvent être reprises et développées pour la suite de l'évaluation, à savoir le choix de variantes.

### 8.3 Choix de variantes

Après l'examen d'opportunité, et si celui-ci est favorable, on procède à l'étude et au choix de variantes. En général, il n'y a que deux variantes de projet à distinguer, l'installation d'une IAD et le service hivernal traditionnel. Dans certains cas il est néanmoins possible d'analyser la possibilité d'équiper uniquement une partie du tronçon étudié, ce qui constitue des cas intermédiaires des deux cas standards.

Diverses solutions sont ainsi envisageables :

- Service hivernal traditionnel (état actuel pour une route existante)
- IAD seulement sur ouvrages d'art
- IAD aux endroits à fort taux d'accidents
- IAD aux endroits à salage fréquent
- IAD 100 %
- Etc.

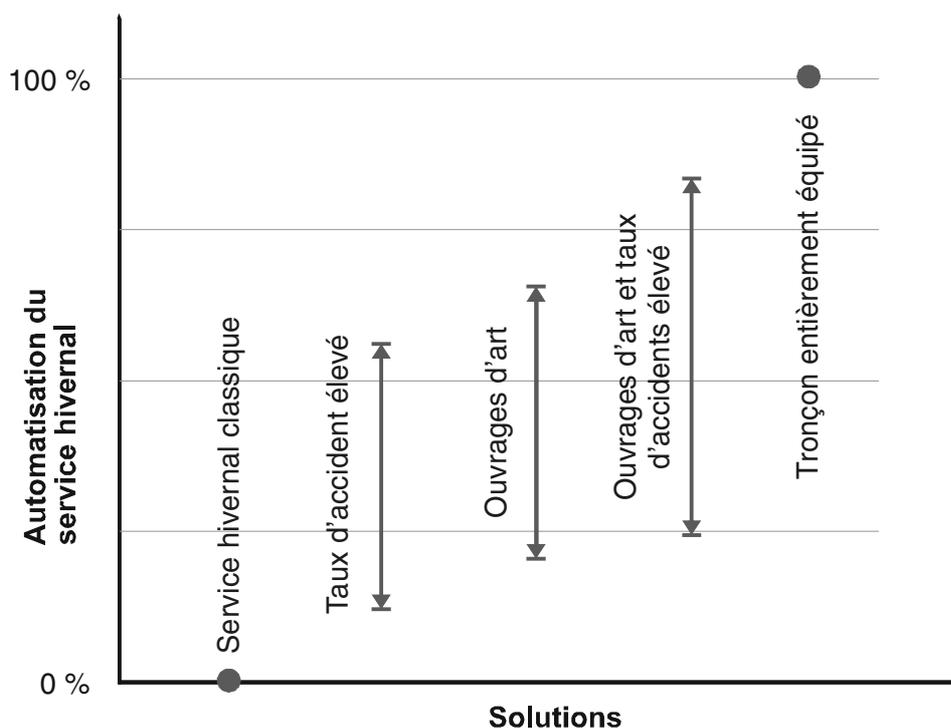


Figure 8 : Exemples de solutions envisageables

L'expérience a montré que, pour des raisons d'exploitation, il faut éviter des installations qui comportent trop de discontinuités disproportionnées (patchwork), car les tronçons intermédiaires doivent toujours être traités de manière traditionnelle, et le conducteur de l'épandeuse serait obligé d'interrompre et d'enclencher le traitement trop souvent.

Ensuite, le projeteur choisit la variante optimale sur la base d'une méthode d'aide multicritère à la décision. Plusieurs méthodes sont envisageables :

- Comparaison efficience – efficacité : monétarisation
- Méthode d'agrégation complète : indicateurs transformés en notes
- Méthode d'agrégation partielle : indicateurs avec leurs unités propres

Sur la base des avantages / inconvénients, nous proposons la méthode d'agrégation complète, qui présente les avantages suivants :

- Pas de monétarisation nécessaire pour certains critères
- Facilité de compréhension

### 8.3.1 Famille de critères

En présence de nombreux critères, comme c'est souvent le cas dans le domaine des infrastructures routières qui affectent de multiples domaines, il est nécessaire de procéder à une agrégation des critères en **famille de critères**. La pondération s'effectue ainsi en deux niveaux sur un nombre de critères qui idéalement ne devrait pas dépasser sept par catégorie. Cependant, on ne procède pas à deux niveaux d'application d'une méthode d'aide multicritère à la décision mais à un seul en attribuant une pondération croisée à chaque critère. Cette pondération croisée est obtenue en multipliant le poids du critère au sein de sa famille par le poids de sa famille.

Ainsi, l'ensemble des critères **C** comprend **m** critères **c<sub>j</sub>** répartis en **f** familles de critères **F<sub>i</sub>**. Le poids **P<sub>j</sub>** d'un critère se détermine ainsi de la manière suivante :

$$P_j = P_{ji} \cdot P_i$$

Avec les éléments suivants :

- $P_j$  poids du critère  $c_j$  relativement à l'ensemble des autres critères de l'ensemble C
- $P_{j,i}$  poids du critère  $c_j$  relativement à l'ensemble des autres critères de la famille de critères  $F_i$  à laquelle appartient le critère  $c_j$
- $P_i$  poids de la famille de critère  $F_i$  à laquelle appartient le critère  $c_j$  relativement à l'ensemble des autres familles de critères

On peut remarquer que pour  $t$  critères  $c_j$ <sup>5</sup> d'une famille de critères  $F_i$  définie, on a :

$$\sum_{j=1}^{j=t} P_{j,i} = 100 \%$$

De même, pour l'ensemble des poids  $P_i$  des  $f$  familles de critères, on a :

$$\sum_{i=1}^{i=f} P_i = 100 \%$$

---

<sup>5</sup> On peut postuler que  $t \ll j$  et que  $t \leq 7$  et  $f \leq 7$

### 8.3.2 Critères de choix proposés

Famille	Critère de choix	Unité
<b>Economie</b>	Amortissement	coût
	Coût d'exploitation	coût
	Coût de la maintenance routière	coût
<b>Environnement</b>	Utilisation de sel	quantité
	Consommation de carburant (congestion)	quantité
	Effet sur les ouvrages (corrosion, etc.)	
	Gêne des riverains (réduction du bruit et de la pollution)	qualité de vie
<b>Trafic</b>	Accidents sur verglas	gravité
	Congestion du trafic due au service hivernal	temps
	Congestion du trafic due aux accidents	temps
	Gêne aux autres usagers (piétons, cyclistes,...)	
<b>Exploitation</b>	Gestion des équipes	
	Rapidité d'intervention	temps
	Information pour l'exploitant et l'utilisateur	confort
	Faculté d'adaptation	

Les critères de choix retenus pour l'étude de variante sont très semblables aux indicateurs décrits précédemment pour l'examen d'opportunité. Une définition et évaluation plus approfondie sont cependant indispensables à ce stade de l'étude.

### 8.3.2.1 Amortissement du coût d'investissement

<b>Explication</b>	<p>Les coûts d'investissement sont constitués de deux parties distinctes :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Les coûts de l'équipement électromécanique peuvent être définis de manière assez aisée, car ils sont fonction du type de IAD et du matériel nécessaire</li><li>- Les coûts de construction sont plus difficiles à déterminer, car ils peuvent varier selon le type d'exécution (installation en plein air, en souterrain, etc.) et la possibilité de profiter d'une (re)construction du revêtement.</li></ul> <p>En général, les coûts d'investissement sont amortis sur une durée déterminée par le maître d'ouvrage. Cette période peut être différente pour les coûts de l'équipement et pour les coûts de construction.</p> <p>Pour le cas du service hivernal traditionnel, l'investissement peut être nul, si aucun équipement supplémentaire est nécessaire (cas d'une route existante)</p>
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Données nécessaires</b>	Coûts d'investissement et période d'amortissement
<b>Sources potentielles</b>	Les coûts du matériel peuvent être estimés par le fournisseur du système. De par son expérience, il peut également donner une indication sur les coûts de construction, selon le type d'exécution choisi. Sinon, une offre peut être demandée d'un ou de plusieurs entrepreneurs.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Les coûts d'investissement (selon une date de référence à choisir) sont répartis sur les périodes d'amortissement choisies. Pour la suite, seule la période d'amortissement de l'équipement est retenue pour les calculs de la rentabilité.

### 8.3.2.2 Coût d'exploitation

<b>Explication</b>	Les coûts d'exploitation sont fonction du standard souhaité et sont ainsi liés aux équipements utilisés et au personnel employé pour le service hivernal. Ils comprennent également les travaux de maintenance de l'IAD.
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Données nécessaires</b>	Coûts d'exploitation des équipes et des équipements, ainsi qu'une estimation des coûts de maintenance de l'IAD
<b>Sources potentielles</b>	Le service d'entretien tient des statistiques concernant l'utilisation du matériel, ainsi que des agents de déverglaçage, et il peut également fournir les coûts du personnel. En ce qui concerne la maintenance de l'IAD et la quantité de saumure nécessaire, le fournisseur du système peut donner des indications.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Les différents coûts sont sommés sur une base annuelle et servent au calcul de la rentabilité.
<b>Remarques</b>	Si aucun changement au niveau du personnel ou des équipements n'est nécessaire, ces coûts peuvent être omis dans le calcul.

### 8.3.2.3 Coût de la maintenance routière

<b>Explication</b>	Les coûts de la maintenance routière comprennent tous le frais liés aux réparations de la structure routière et des ouvrages d'art. Pour cette étude, seule la part des dégradations dues à la maintenance hivernale sont à considérer.
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Données nécessaires</b>	Estimation des coûts de la maintenance, estimation de la part des dégradations dues au service hivernal.
<b>Sources potentielles</b>	Exploitant de la route
<b>Evaluation / Calcul</b>	Les coûts sont utilisés tels quels.

### 8.3.2.4 Utilisation de sel

<b>Explication</b>	La quantité de sel projeté sur la route est un facteur important au niveau économique, ainsi qu'au niveau environnemental. En effet, une économie en quantité de sel est proportionnellement liée à une économie des coûts d'exploitation (dont on tient compte déjà). En plus, les atteintes à l'environnement diminuent en parallèle.
<b>Unité</b>	Tonnes / an
<b>Données nécessaires</b>	Quantité de sel utilisé par année sur le tronçon étudié
<b>Sources potentielles</b>	Les statistiques du service d'entretien donnent des informations suffisantes sur le service hivernal traditionnel. En ce qui concerne les quantités de saumure utilisées par l'IAD, une estimation doit être faite, en profitant de l'expérience d'autres installations et/ou du fournisseur.
<b>Evaluation / Calcul</b>	La quantité de sel peut être prise telle quelle. Si de la saumure est utilisée, la quantité doit être calculée en tenant compte de la concentration du sel dans la saumure.

### 8.3.2.5 Consommation de carburant (congestion)

<b>Explication</b>	Une congestion n'est pas seulement une gêne du flux de trafic, mais elle est également la cause d'une pollution supplémentaire. La perte de temps entraînée par la congestion est déterminée par un autre critère.
<b>Unité</b>	Litres / an
<b>Données nécessaires</b>	Nombre d'heures de congestions dues aux conditions hivernales et le trafic pendant l'événement. Utilisation horaire moyenne de carburant d'un véhicule pris dans une congestion.
<b>Sources potentielles</b>	Pour les heures de congestion, la police tient parfois des statistiques. Sinon, une approximation peut être faite en profitant de l'expérience du service d'entretien. Les comptages donnent une idée des conditions du trafic pendant l'événement.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Quantité = Heures * Véhicules * Consommation

### 8.3.2.6 Effet sur les ouvrages (corrosion)

<b>Explication</b>	La corrosion est un phénomène qui apparaît particulièrement sur des anciens ouvrages, construits avec des anciennes normes.
<b>Unité</b>	Qualité de recouvrement
<b>Données nécessaires</b>	Recouvrement des armatures, détails de construction
<b>Sources potentielles</b>	Plans d'exécution, relevés
<b>Evaluation / Calcul</b>	Descriptif de l'ouvrage

### 8.3.2.7 Qualité de vie des riverains (bruit, pollution)

<b>Explication</b>	A priori, les véhicules d'entretien sont plus bruyants que les IAD. A ceci se rajoute la pollution due à la congestion et à la circulation des épanduses
<b>Unité</b>	Descriptif, LeQ (bruit), quantité de polluants
<b>Données nécessaires</b>	Immissions, émissions
<b>Sources potentielles</b>	Mesures, estimation
<b>Evaluation / Calcul</b>	Descriptif des émissions

### 8.3.2.8 Gravité des accidents en conditions de verglas

<b>Explication</b>	Un des buts principaux d'une IAD est la diminution du nombre d'accidents. Il ne faut pourtant pas oublier que ces systèmes sont utilisés pour le service hivernal et qu'une réduction du nombre n'est uniquement possible pour les accidents qui ont une cause hivernale, particulièrement sur chaussée verglacée. Les effets des accidents de ce type constituent donc un indicateur important.
<b>Unité</b>	Coût social / an
<b>Données nécessaires</b>	Coût social des accidents en conditions de verglas
<b>Sources potentielles</b>	La police dispose de statistiques d'accidents détaillées. Depuis 1995, les fiches d'accident sont uniformisées de par l'Office fédéral de la statistique et la police peut fournir les détails nécessaires.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Il est possible de classer les accidents selon l'état de la chaussée, décrit par la police sur le constat d'accident. Ainsi, on peut isoler les endroits avec un risque élevé de subir un accident grave. Ensuite, les coûts sociaux des accidents sont cumulés, afin de pouvoir les comparer.
<b>Remarques</b>	Or la météo ne reste pas constante chaque hiver, des grandes différences peuvent apparaître lors de la comparaison. Une analyse météorologique (voir indicateur « Rudesse hivernale ») peut aider à comprendre ces écarts. Des accidents graves étant en général très rares, on n'en trouve souvent un nombre très petit sur un tronçon donné. Ceci laisse des doutes de la validité statistique des données, un sujet à bien analyser. Les statistiques d'accident ne tiennent pas compte des cas dans lesquels la police n'intervient pas (p.ex. rapport préalable). Les assurances peuvent également donner des informations à ce sujet.

### 8.3.2.9 Congestion du trafic causée par le service hivernal (coût de l'usager)

<b>Explication</b>	Les véhicules du service d'entretien peuvent constituer une gêne de trafic, particulièrement lors du dégagement de la neige.
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Données nécessaires</b>	Nombre d'heures des congestions dues au service hivernal, le trafic pendant l'événement, ainsi que le coût moyen d'une heure de congestion par véhicule.
<b>Sources potentielles</b>	Les témoignages du service d'entretien sont les plus précieux pour estimer la gêne de trafic causée par ses véhicules. La police peut donner des informations complémentaires.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Coût = Heures * Véhicules * Moyenne
<b>Remarques</b>	Une IAD ne peut pas remplacer le dégagement de la neige, cette opération sera toujours nécessaire. Lors d'un épandage, la gêne du véhicule d'entretien est en général moins grande, voire négligeable.

### 8.3.2.10 Congestion du trafic causée par un accident (coût de l'usager)

<b>Explication</b>	Un accident peut être la cause d'une congestion. On ne tient compte que des accidents dus aux conditions hivernales.
<b>Unité</b>	CHF / an
<b>Données nécessaires</b>	Nombre d'heures des congestions dues aux accidents sous conditions hivernales, le trafic pendant l'événement, ainsi que le coût moyen d'une heure de congestion par véhicule.
<b>Sources potentielles</b>	La police et le service d'entretien sont les meilleures sources pour cette information.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Coût = Heures * Véhicules * Moyenne

### 8.3.2.11 Gêne aux autres usagers

<b>Explication</b>	Le service hivernal peut avoir une influence sur le confort des autres usagers de la route que les automobilistes.
<b>Unité</b>	Descriptif
<b>Données nécessaires</b>	Conditions locales, particularités pour le service hivernal
<b>Sources potentielles</b>	Service d'entretien, plans de situation, visite sur place
<b>Evaluation / Calcul</b>	Descriptif du niveau de gêne
<b>Remarques</b>	Si l'étude de l'IAD concerne une route à grand débit, sur laquelle ne se trouvent que des véhicules motorisés, ce critère peut être négligé.

### 8.3.2.12 Gestion des équipes et du matériel du service d'entretien

<b>Explication</b>	Une IAD peut permettre au service d'entretien d'agir de manière plus flexible sur le reste du réseau routier. Le responsable des équipes a la possibilité de mieux gérer les efforts des équipes. Ceci dépend fortement de l'emplacement et de la configuration du système automatique. Une réduction du travail de nuit et des permanences peut également être envisagée.
<b>Unité</b>	Descriptif
<b>Données nécessaires</b>	Estimation du temps économisé et des possibilités d'occupations alternatives pour les équipes.
<b>Sources potentielles</b>	Service d'entretien
<b>Evaluation / Calcul</b>	Descriptif du niveau de flexibilité de la gestion des équipes

### 8.3.2.13 Rapidité d'intervention

<b>Explication</b>	La rapidité de l'intervention est très important pour un service hivernal efficace et l'éloignement du centre d'entretien est primordial. La norme suisse <sup>6</sup> définit les temps d'intervention maximaux.
<b>Unité</b>	Minutes
<b>Données nécessaires</b>	Temps d'intervention
<b>Sources potentielles</b>	Le service d'entretien dispose en général de ce genre d'information que ça soit par expérience ou par la planification théorique des itinéraires. Sinon, (pour une route nouvelle, p.ex.) une estimation du temps de parcours sous conditions hivernales doit être faite.
<b>Evaluation / Calcul</b>	Le temps d'intervention peut être utilisé tel quel, un temps plus court étant évidemment plus avantageux.

### 8.3.2.14 Information pour l'exploitant et l'utilisateur

<b>Explication</b>	Un système de détection de verglas donne des informations importantes sur l'état de la chaussée. L'exploitant interprète ces données et décide des actions à prendre. Une IAD réunit une multitude de ces capteurs et peut réagir de manière automatique sur les alarmes de verglas. Il est également possible de transmettre une information sur le risque possible de verglas aux usagers.
<b>Unité</b>	Descriptif
<b>Données nécessaires</b>	Nombre et type des détecteurs de verglas, utilisation des données, transmission aux usagers
<b>Sources potentielles</b>	Service d'entretien
<b>Evaluation / Calcul</b>	Le service d'entretien décide de l'utilisation des données qui lui parviennent des stations de mesure. La variante est plus favorable au niveau de l'information sur l'état de la chaussée si ces données sont rendues publiques.

---

<sup>6</sup> SN 640 756a : Service hivernal – Degré d'urgence

### 8.3.2.15 Faculté d'adaptation de la variante

<b>Explication</b>	Souplesse du système retenu : possibilités de modifications ultérieures, compatibilité avec d'autres systèmes, etc.
<b>Unité</b>	Descriptif
<b>Données nécessaires</b>	---
<b>Sources potentielles</b>	Fournisseurs
<b>Evaluation / Calcul</b>	Descriptif du niveau de compatibilité

### 8.3.3 Pondération des critères

Cette étape de pondération est réalisée en deux temps [11]:

- Tout d'abord, il s'agit d'identifier et de ranger les critères retenus pour l'analyse. Comme plusieurs critères sont présents pour la méthode proposée, un regroupement des critères par familles est réalisé. On doit ainsi procéder à une pondération par deux niveaux : familles puis critères au sein des familles. Cette étape est réalisée principalement par le projeteur.
- Dans une deuxième phase, les différents spécialistes établissent leur pondération, qui est la préférence relative accordée à un critère vis-à-vis des critères de sa propre catégorie, pour chacun des critères et des familles déterminées auparavant (pondération individuelle à double niveau).  
Le projeteur n'intervient pas ici.

La pondération d'un objectif par les spécialistes est organisée de la manière suivante :

- les poids sont attribués en %
- la somme des différentes pondérations au sein d'une catégorie donnée vaut 100 %
- le poids maximal pour un objectif est fixé à 50 %
- le poids minimal attribué à un objectif est de 10 %

### 8.3.4 Exemple d'application – A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projet)

Des travaux importants de remise en état de l'autoroute A12 (Vevey – Berne) aux alentours de la jonction de Châtel-St-Denis sont planifiés à partir de l'année 2005. Une installation automatique de déverglaçage (IAD) sur la partie supérieure du tracé est envisagée par le canton de Vaud.

Le LAVOC a été mandaté d'évaluer l'opportunité d'une telle installation. Cette étude externe a ainsi servi d'exemple d'application pratique pour le présent travail de recherche. Dans la suite sont résumés la démarche et les résultats du choix de variantes.

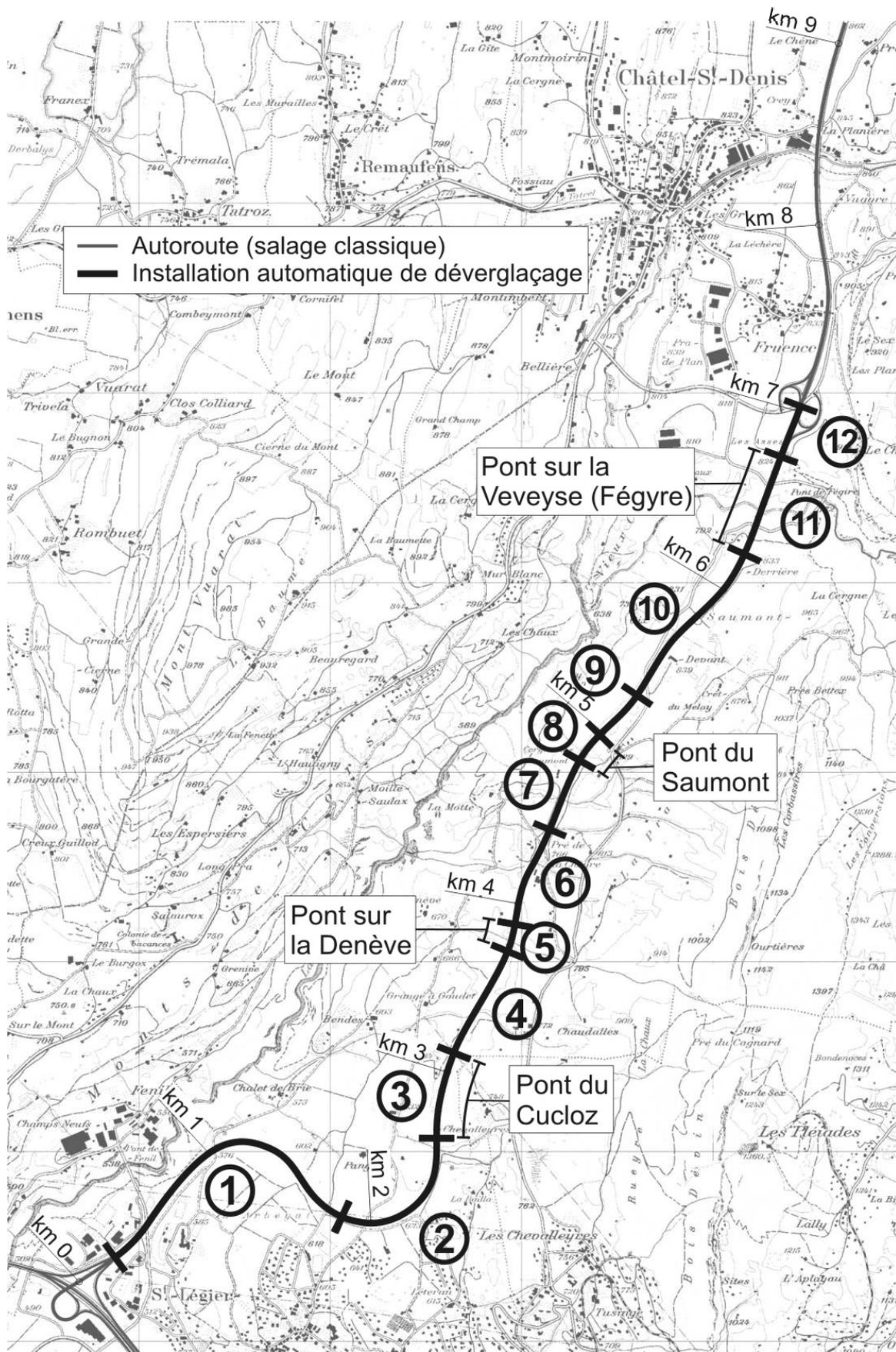


Figure 9 : Tronçon autoroutier étudié (A12) avec secteurs potentiels à équiper

### 8.3.4.1 Description des variantes

Tout d'abord, il convient de proposer les variantes envisageables dans le cadre de ce projet. A part le service hivernal traditionnel et la configuration de l'installation prévue par le service des routes, trois variantes supplémentaires sont proposées :

Variante	Description	Secteurs	Kilomètres total
0	Service hivernal traditionnel	---	0.0
1	IAD sur les ouvrages d'art	3, 5, 8, 11	1.3
2	IAD aux endroits d'accidents fréquents sur verglas	2, 3, 7 – 9, 11	2.5
3	IAD comme proposée par le service des routes	3, 5 – 12	3.9
4	IAD continue sur la totalité du tronçon	1 – 12	7.0

**Tableau 3 : Variantes considérées**

Pour des raisons de simplification, il est admis que l'autoroute sera équipée dans les deux directions sur les tronçons indiqués.

### 8.3.4.2 Notation

Chaque critère de choix a ensuite été évalué et noté sur une échelle de 0 à 3 avec des pas de 0.5. Le critère de gêne des autres usagers a été éliminé de l'évaluation, car sur l'autoroute, les autres usagers (piétons, cyclistes, etc.) ne sont pas présents et ainsi négligeables. Le tableau suivant montre le résultat de la notation des variantes :

Critère de choix	Variante				
	0	1	2	3	4
Amortissement de l'investissement	3.0	2.5	2.0	1.5	0
Coût d'exploitation	0	0	0.5	0.5	1.0
Coût de la maintenance routière	0	1.5	1.0	1.5	1.5
Consommation de sel	0	0.5	0.5	1.0	1.5
Consommation de carburant	0	0	0	0	0
Effet sur les ouvrages	0	1.5	1.0	1.5	1.5
Gêne des riverains	0	0	0	0	0
Accidents sur verglas	0	0.5	3.0	2.0	3.0
Congestion du trafic due au service hivernal	0	0.5	1.0	1.5	3.0
Congestion du trafic due aux accidents	0	1.0	3.0	1.5	3.0
Gestion des équipes	0	1.0	2.0	2.0	3.0
Rapidité d'intervention	0	3.0	3.0	3.0	3.0
Information pour l'exploitant et l'utilisateur	0.5	1.5	3.0	2.5	3.0
Faculté d'adaptation	3.0	2.0	1.0	1.0	0

**Tableau 4 : Tableau de notation des variantes**

### **8.3.4.3 Pondération**

Pour la pondération des critères, un certain nombre de spécialistes de différents domaines (Maîtres d'ouvrage, exploitants, utilisateurs, milieu académique) a été invité de donner leur avis. Les huit réponses ont permis de faire une analyse de sensibilité sur les résultats. La figure suivante montre une feuille de calcul type pour l'évaluation des variantes pour une pondération donnée :

Tableau de notation des variantes													
Famille	Critère	Contraintes		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante 0	
		Poids	Libellé	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
Economie		20	Amortissement	2.5	100	2	80	1.5	60	0	0	3	120
		40	Coût d'exploitation	0	0	0.5	20	0.5	20	1	40	0	0
		20	Coût de maintenance	1.5	30	1	20	1.5	30	1.5	30	0	0
			Valeur de l'objectif	$V_{1,1} = 130$		$V_{1,2} = 120$		$V_{1,3} = 110$		$V_{1,4} = 70$		$V_{1,5} = 120$	
	Note de l'objectif	$N_{1,1} = 1.3$		$N_{1,2} = 1.2$		$N_{1,3} = 1.1$		$N_{1,4} = 0.7$		$N_{1,5} = 0.9$			
Environnement		15	Quantité de sel	0.5	20	0.5	20	1	40	1.5	60	0	0
		25	Quantité de carburant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		25	Effet sur les ouvrages	1.5	37.5	1	25	1.5	37.5	1.5	37.5	0	0
		10	Gêne des riverains	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Valeur de l'objectif	$V_{2,1} = 57.5$		$V_{2,2} = 45$		$V_{2,3} = 77.5$		$V_{2,4} = 97.5$		$V_{2,5} = 0$			
	Note de l'objectif	$N_{2,1} = 0.6$		$N_{2,2} = 0.5$		$N_{2,3} = 0.8$		$N_{2,4} = 1.0$		$N_{2,5} = 0.0$			
Trafic		40	Gravité des accidents	0.5	25	3	150	2	100	3	150	0	0
		15	Congestion due à l'entretien	1	15	2	30	2	30	3	45	0	0
		25	Congestion due aux accidents	1	25	3	75	1.5	37.5	3	75	0	0
			Valeur de l'objectif	$V_{3,1} = 85$		$V_{3,2} = 255$		$V_{3,3} = 167.5$		$V_{3,4} = 270$		$V_{3,5} = 0$	
	Note de l'objectif	$N_{3,1} = 0.7$		$N_{3,2} = 2.8$		$N_{3,3} = 1.9$		$N_{3,4} = 3.0$		$N_{3,5} = 0.0$			
Exploitant		25	Gestion des équipes	1	20	2	40	2	40	3	60	0	0
		50	Rapidité d'intervention	3	150	3	150	3	150	3	150	0	0
		15	Information	1.5	22.5	3	45	2.5	37.5	3	45	0.5	7.5
		15	Adaptation	2	30	1	15	1	15	0	0	3	45
	Valeur de l'objectif	$V_{4,1} = 222.5$		$V_{4,2} = 250$		$V_{4,3} = 242.5$		$V_{4,4} = 255$		$V_{4,5} = 52.5$			
	Note de l'objectif	$N_{4,1} = 2.2$		$N_{4,2} = 2.5$		$N_{4,3} = 2.4$		$N_{4,4} = 2.6$		$N_{4,5} = 0.2$			

Tableau de classement des variantes												
Objectifs	Libellé	Poids	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante 0	
			Note	Note pondérée	Note	Note pondérée						
	Economie	20	1.3	26.0	1.2	24.0	1.1	22.0	0.7	14.0	0.9	24.0
	Environnement	15	0.6	8.6	0.5	6.8	0.8	11.6	1.0	14.6	0.0	0.0
	Trafic	40	0.7	28.9	2.8	113.3	1.9	74.4	3.0	120.0	0.0	0.0
	Exploitant	25	2.2	55.6	2.5	62.5	2.4	60.6	2.6	63.8	0.2	13.1
	Valeur globale de la variante		<b>119.1</b>		<b>206.6</b>		<b>169.7</b>		<b>212.4</b>		<b>37.1</b>	
	Classement		<b>4</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>1</b>		<b>5</b>	

Figure 10 : Tableau d'évaluation des variantes pour une pondération donnée

Le tableau suivant résume les résultats des pondérations des différents spécialistes (rendus anonymes par les lettres A à H). Dans la colonne de gauche on trouve la note globale pondérée, dans la colonne de droite le rang du classement :

	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		<b>D</b>		<b>E</b>		<b>F</b>		<b>G</b>		<b>H</b>	
	Note	Rang														
Variante 0	0.4	5	0.3	5	0.7	5	0.3	5	0.2	5	0.3	5	0.4	5	0.3	5
Variante 1	1.4	4	1.1	4	1.4	4	1.0	4	1.0	4	1.1	4	1.2	4	1.4	4
Variante 2	2.1	2	1.8	2	2.0	1	2.1	2	1.8	2	2.0	2	2.1	1	2.1	2
Variante 3	1.8	3	1.6	3	1.7	3	1.6	3	1.5	3	1.6	3	1.7	3	1.8	3
Variante 4	2.3	1	2.0	1	1.9	2	2.2	1	2.2	1	2.1	1	2.1	1	2.3	1

**Tableau 5 : Notes finales des variantes en fonction des pondérations**

#### **8.3.4.4 Conclusions**

Selon l'étude, les variantes 2 (accidents fréquents) et 4 (installation complète) sont les plus avantageuses. Il est encore possible d'approfondir la variante 2 (p.ex. équipement différent à la montée par rapport à la descente).

Ne sont pas considérés par l'étude les détails de constructions annexes comme la position du réservoir central et l'organisation des communications jusqu'au centre de gestion.

Selon les informations du service des routes, les problèmes rencontrés par le service d'entretien sont plutôt liés à la neige qu'au verglas. Les statistiques d'accidents confirment cette tendance. Une réflexion sur la nécessité d'une installation qui lutte essentiellement contre le verglas est donc nécessaire.

## 9 Conclusions

Les installations automatiques de déverglaçage (IAD) constituent un outil performant pour compléter le service hivernal. La possibilité de pouvoir intervenir de manière instantanée lors d'un risque de verglas augmente considérablement la viabilité hivernale et la sécurité routière. Cependant l'investissement initial et les coûts d'entretien du système exigent que les autorités procèdent à un examen d'opportunité et à une étude de variantes avant de décider d'implanter une IAD.

Il n'existe pas en Suisse de procédure normalisée pour l'évaluation de la rentabilité de ces installations, mais la nécessité s'en fait sentir au vu des besoins exprimés récemment encore. Un inventaire des installations et des méthodes et critères d'évaluation appliqués couramment dans différents pays montre que finalement les choix restent partout très subjectifs et émotionnels.

La présente étude aboutit à une méthode d'évaluation basée sur des critères relativement faciles à appréhender et pouvant être appliquée par les autorités et les bureaux d'études. Elle doit également permettre une comparaison des projets au niveau national, importante surtout pour l'Office fédéral des routes, qui co-finance les IAD sur les routes nationales.

La méthode d'évaluation procède en deux étapes. La première étape est appelée **examen d'opportunité** et permet de vérifier si l'impulsion à l'élaboration du projet est fondée. Les critères d'opportunité sont analysés et jugés de manière qualitative, en se basant soit sur des informations statistiques pour une route existante, soit sur des prévisions pour un projet de route à construire. Cette étude d'opportunité peut être effectuée par l'autorité locale concernée.

Si la pertinence de la mise en place d'une IAD est démontrée le **choix de variantes** est alors entrepris pour sélectionner la configuration idéale pour le tronçon de route donné. Une méthode multicritère d'aide à la décision de type d'agrégation complète est proposée. Les critères de choix sont notés et pondérés, afin d'obtenir une ou plusieurs variantes préférentielles. La notation des critères est effectuée par le bureau d'étude chargé du projet, tandis que la pondération doit être réalisée par différents spécialistes des domaines concernés.

Les deux étapes étant menées, la décision de réaliser et exploiter une IAD peut être prise sereinement avec l'assurance d'avoir examiné chaque élément déterminant. Les exemples traités dans cette étude laissent entrevoir que les décisions prises jusqu'à ce jour se justifiaient et sont adaptées à leurs situations particulières.

Ce travail de recherche se veut indépendant du développement de la technologie et de l'évolution des prix. Les IAD évoluent, leur application devient plus accessible, leur mise en place plus simple et leur entretien meilleur marché. La méthode proposée demeure applicable dans ce cadre de cette évolution parce que les critères essentiels pour la justification et le choix ne changent pas.

## 10 Bibliographie

- [1] Ruess, B. (1998). ***Epannage de sel ou de gravier dans le service hivernal - Optimiser la relation coût/utilité en tenant compte des facteurs de l'environnement et de la sécurité***, RUS AG, Baden. 397. 83 p.
- [2] Durth, W., Hanke, H. et Levin, C. (1987). ***Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufs***, *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, 550: p.
- [3] Abay, G. (Recherche en cours). ***Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes***, Rapp Trans AG, Zürich. ?? p.
- [4] Wirtz, H. et Moritz, K. (1993). ***Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen***, Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach. 36 p.
- [5] Torday, A. et Baumann, D. (2003). ***Suivi des installations automatiques de déverglacement - Contournement de Lausanne***, EPFL - LAVOC, Lausanne. 51 p.
- [6] Zambelli, M. (1998). ***Implantation d'une installation fixe d'aspersion automatique de fondant chimique sur l'autoroute de contournement de Lausanne***. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [7] Keranen, P. (2000). ***Automated Bridge Deicers in Minnesota***. dans *Proceedings of the 5th International Symposium on Snow and Ice Control Technology*, Roanoke.
- [8] Keranen, P. (1998). ***Recherche en entretien - Une approche unique pour l'innovation de l'entretien hivernal des routes***. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [9] Keranen, P. (1998). ***Dégivreurs de ponts automatisés pour une sécurité accrue et une diminution de l'utilisation du sel dans le Minnesota***. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [10] Pesti, G., Khattak, A., Kannan, V. et McCoy, P. (2003). ***Decision Aid for Prioritizing Bridge Deck Anti-Icing System Installations***. dans *Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- [11] Tille, M. (2000). ***Choix de variantes d'infrastructures routières : méthodes multicritères***, Département de génie civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne. 388 p.
- [12] (2002). ***NISTRA: Indicateurs du développement durable pour les projets d'infrastructure routière***, Office fédéral des routes, Bern. 151 p.
- [13] SN 640 772b (2001). ***Service hivernal; Lutte contre la glissance hivernale au moyen de matériaux d'épandage***. Union des professionnels suisses de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, Zürich.
- [14] (1994). ***Planung, Bau und Betrieb von Taumittel-Sprühanlagen (TMS)***, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 13 p.

- [15] Johnson, C. (2001). ***I-35W & Mississippi River Bridge Anti-Icing Project***, Minnesota Department of Transportation, 30 p.
- [16] (2003). ***NISTRA: Indicateurs du développement durable pour les projets d'infrastructure routière***, Office fédéral des routes, Bern. 143 p.
- [17] SN 640 009 (1998). ***Accidents de la circulation; Localisation et classement des accidents (points noirs)***. Union des professionnels suisses de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.
- [18] Ruess, B. (2004). ***Indikator der Winterlichkeit - Berücksichtigung der verschiedenen Klimaregionen der Schweiz***, RUS AG, Baden. 46 p.
- [19] SN 640 756a (1991). ***Service hivernal; Degrés d'urgence - Niveau du service hivernal - Plan et registre des itinéraires - Plan d'intervention***. Union des professionnels suisses de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.
- [20] Dumont, A.-G. (2000). ***Conception des voies de circulation - Cours destiné aux étudiants Génie Civil***, Lausanne. 179 p.
- [21] SN 640 020 (1999). ***Capacité, niveau de service, charges compatibles; Routes principales et routes de liaison***. Union des professionnels suisses de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.
- [22] SN 640 110 (1983). ***Tracé; Eléments du profil en long***. Union des professionnels suisses de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.

## **11 Annexes**

### **11.1 Inventaire des installations existantes**

La liste suivante répertorie les installations mises en place par l'entreprise Boschung Mecatronic SA. Les autres fabricants n'ont pas répondu à deux prises de contact.

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
CAN	Ontario	MTO, Canada 401/416		2000	2000 (+MTS)	10	150 m
CAN	Toronto Airport	Ontario Aéroport 502		2002	2000 (+MTS)	12	180 m
CAN	Toronto Airport	Ontario Aéroport 606		2002	2000 (+MTS)	17	255 m
CH	COOP Frick	COOP Center Frick, BL		1996	2000 (+MTS)	10	100 m
CH	Flamatt	Autoroute A12 Flamatt, FR	pont	1996	2000	91	800 m
CH	Flamatt	Autoroute A12 Sortie Flamatt, FR		1997	2000 (+MTS)	10	150 m
CH	Fligh Zürich	Flughafen Zürich Kloten Terminal Ramp		1992	2000	20	70 m
CH	Fligh Zürich RaA	Flughafen Zürich Kloten Parking A		1992	2000	12	200 m
CH	Fligh Zürich RaB	Flughafen Zürich Kloten Parking B		1992	2000	12	200 m
CH	Genf	Genève, Pont "Aigues-Vertes"		1993	2000	50	1'000 m
CH	Gir. Granges-Paccot	Granges-Paccot, Giratoire		1999	2000 (+MTS)	8	50 m
CH	Hergiswil	Autoroute A2 Hergiswil, NW		1994	2000 (+MTS)	20	300 m
CH	Lausanne	Autoroute Contournement de Lausanne, VD		1997/98	2000	1071	7'400 m
CH	Route d'Englisberg	Granges-Paccot, Route d'Englisberg		1999	2000	34	500 m
COR	Daekuanroung	Daekuanroung		2001	2000 (+MTS)	32	710 m
COR	Jinboo	Jinboo		1999	2000 (+MTS)	20	180 m
COR	Sabuk	Sabuk Small Casino		2000	2000	53	750 m
CZ	Barrandov	Prague, Pont de Barrandov	pont	1995	2000 (+MTS)	16	200 m
CZ	Bulhar	Prague, Pont de Bulhar	pont	1998	2000	92	700 m
CZ	Estakada Prosek	Estakada Prosek		2002	2000	18	250 m
CZ	Hrebec	Hrebec		2001	2000	42	630 m
CZ	Strahovski	Prague, Pont de Strahovski	pont	1997	2000	26	200 m
CZ	Vrsovice	Vrsovice		2001	2000	56	800 m

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
D	Bielefeld	Autoroute	A2 Herford	1995	2000	460	4'000 m
D	Donauwörth	Route	B25 Donauwörth	1982	1000/2000	60	300 m
D	Drakensteiner	Autoroute	A8 Drakensteiner Hang	1983/92	1000/2000	144	1'800 m
D	Düsseldorf		Rampe Winterdienst Düsseldorf Flughafen	1996	2000 (+MTS)	10	150 m
D	EKZ Eiche			1996	2000 (+MTS)	6	90 m
D	EKZ Grossbeeren		Einkaufszentrum Grossbeerenstrasse Potsdam	1997	2000 (+MTS)	6	75 m
D	EKZ Nürnberg		Franken Center Nürnberg	1991	2000 (+MTS)	47	160 m
D	EKZ Olympia		Olympia Center München	1989	2000 (+MTS)	44	320 m
D	Finowfurt	Autoroute	A11 Bernau	1992	2000	10	100 m
D	Frankfurt	Autoroute	A3 - A5	2002	2000 (+MTS)	40	600 m
D	Haselholm	Route	B76 Schleswig Haselholm	1993	2000	50	400 m
D	Haseltal	Autoroute	A3 Haseltal	1995	2000	100	700 m
D	Hoyerswerda		Sachsen Center Hoyerswerda	1995	2000 (+MTS)	16	100 m
D	Kalteiche	Autoroute	A45 Freudenberg	1999	2000	316	3'000 m
D	Ladbergen	Autoroute	A1 Lengerich	1993/99	2000	12	100 m
D	Lüdenscheid	Autoroute	A45 Lüdenscheid	1986/94	1000/2000	480	7'000 m
D	München	Aéroport	München (Franz Josef Strauss)	1992	2000	70	2'400 m
D	Münster	Autoroute	A1 Münster	1983/92	1000/2000	24	100 m
D	P4 Düsseldorf	Parking	Düsseldorf Parking P4	1995	2000 (+MTS)	20	1'000 m
D	Rheine	Autoroute	A 30 Lengerich	1991	2000	22	100 m
D	Rosenheim	Autoroute	A8 Rosenheim	1983/91	1000/2000	44	200 m
D	Rosslau	Route	Elbebrücke Rosslau	1994	2000	28	300 m
D	Weitingen	Autoroute	A81 Weidinger Brücke	2000	2000	156	1'900 m

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
D	Zuffenhausen	Route	B10 Stuttgart Zuffenhausen	1994	2000	55	400 m
DK	Roskilde	Autoroute	Copenhagen - Holbaek	1992	2000	10	100 m
E	Cordoba		Cordoba	2002	2000 (+MTS)	24	360 m
E	Sommosierra		Tunnel de Sommosierra	2001	2000 (+MTS)	5	75 m
E	Sommosierra 2		Tunnel de Sommosierra	2002	2000 (+MTS)	5	75 m
F	Haudiomont		PR264	2001	2000	44	690 m
F	PR107		PR107	2002	2000	38	600 m
F	PR108		PR108	2002	2000	44	690 m
F	Puymorens		ASF, Tunnel Puymorens	1994	2000 (+MTS)	10	150 m
F	Rimsdorf		SANEF, Phalsbourg	1998/2002	2000 (+MTS)	32	500 m
F	Sommedieu		PR257	2001	2000	82	1'300 m
F	Tramery		PR123	2002	2000	82	1'300 m
F	Viaduc de Chèvres		SFTRF, La Maurienne, Viaduc des Chèvres	2000	2000 (+MTS)	20	400 m
I	Aosta	Autoroute	Buthier	1997	2000	58	460 m
I	Gardena		Gardena	2002	2000 (+MTS)	14	210 m
J	Nichijo		Nichijo	2002	2000 (+MTS)	6	90 m
LUX	St-Esprit		Luxembourg, Tunnel St-Esprit	1988	1000	19	200 m
PL	Warschau		Warsaw airport, drive-in terminal 1	1999	2000 (+MTS)	10	110 m
PL	Wilostrada		Wilostrada	2002	2000 (+MTS)	44	660 m
RUS	Chrypani		Moscou, pont Chrypani	1998	2000	30	410 m
RUS	Kutusowskij		Moscou, Kutusowskij	2000	2000	210	1'600 m
RUS	Moskau Ring	Autoroute	Moscou, périphérique	1998	2000	104	320 m
UKR	Fligh Borispol		Kiev, Aéroport Borispol	1996	2000 (+MTS)	10	100 m

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
USA	Allegheny	Allegheny, PA		1998	2000	17	150 m
USA	Allegheny Extension	Allegheny, PA		1999	2000	20	300 m
USA	Chicago O'Hare	Chicago, O'Hare, IL		2000	2000 (+MTS)	10	150 m
USA	Clearfield	Clearfield, PA		2001	2000	28	420 m
USA	Erie E79	Erie E79, PA		2000	2000	70	490 m
USA	Erie SR79	Erie SR79, PA		2000	2000 (+MTS)	10	150 m
USA	Lucerne County	Lucerne County, PA		2000	2000 (+MTS)	16	240 m
USA	Minneapolis	Minneapolis, Mississippi Bridge, MN	pont	1999	2000	76	600 m
USA	Nebraska I-80	Nebraska I-80		2001	2000	32	480 m
USA	Utah Cottonwood 1	Salt Lake City, Cottonwood, UT		2000	2000 (+MTS)	9	135 m
USA	Utah Cottonwood 2	Salt Lake City, Cottonwood, UT		2000	2000 (+MTS)	9	135 m
USA	Warren	Warren, PA		1998	2000	12	80 m
USA	Westmoreland	Westmoreland, PA		1998	2000	16	200 m

## **11.2 Visite d'installations automatiques de déverglaçage en Allemagne**

### **Compte rendu de D. Baumann, LAVOC**

5 – 7 mai 2003

#### **Objectifs**

Dans le cadre du travail de recherche, une visite auprès d'un exploitant de tels systèmes a été faite, afin d'avoir plus d'informations sur leur utilisation et les critères d'implantation pris en compte. Or la région de Westfalen-Lippe (Allemagne) possède six grandes installations, dont la première date de 1986, une visite du « Landesbetrieb Strassenbau NRW » semblait une bonne occasion pour profiter de leur expérience dans le domaine du service hivernal (Figure 11).

Le but principal de la visite était d'apprendre la démarche suivie avant la construction de l'IAD et d'en visiter deux installations, afin de mieux comprendre la situation et les conditions spécifiques de la région.



Figure 11 : Plan de la région (Bundesland de Nordrhein-Westfalen)

**Lundi, 5 mai 2003**

L'après-midi, visite de l'installation de Lüdenscheid sur l'A45, qui date de 1986, avec M. Schütz de l'entreprise Boschung Mecatronic SA. L'IAD est continue sur 6 km dans la direction de Francfort et asperge uniquement les ponts dans la direction de Dortmund. Les conduites et le câblage sont installés à ciel ouvert, le long des glissières métalliques, principalement sur le terre-plein central. Les têtes de giclage sont installées sur les montants des glissières, en alternance des deux côtés de la chaussée (Figure 12).



**Figure 12 : Tête de giclage (à gauche) et apport de saumure (à droite) de l'IAD de Lüdenscheid  
(Photos : W. Bollinger)**

Au point de rendez-vous, l'aire de repos « Rölveder Mühle », l'installation est visible. Rencontre avec les MM. Breuker (ingénieur responsable du Landesbauamt), Albers (assistant technique et responsable de la centrale du service hivernal), Schneider (responsable du centre d'entretien de Lüdenscheid), Stabenow (employé technique du centre d'entretien de Lüdenscheid) et Jacobi (employé technique du centre d'entretien de Lüdenscheid).

La station de pompage et la centrale de commande secondaire se trouvent sur l'aire de repos. Nous avons donc l'occasion d'assister au fonctionnement de cette IAD « ancien style ». Les expériences faites avec cette installation sont très précieuses et les systèmes plus récents ont profités des améliorations effectuées sur cet ouvrage, surtout au niveau de la maintenance de l'installation et la minimisation de la perte de saumure après une interruption du système d'apport de saumure (suite à un accident, par exemple).

Nous nous sommes ensuite déplacés vers le centre d'entretien de Lüdenscheid, où une discussion intéressante sur la nécessité de tels systèmes à certains endroits particuliers a eu lieu. Les employés du centre d'entretien utilisent bien l'installation, qui permet une aspersion de la chaussée au bon moment, avant que le verglas puisse se former. L'âge de l'installation a pourtant pour effet de demander une maintenance plus élevée : Un employé du centre d'entretien s'occupe quasiment à plein temps du système, auquel se rajoutent les frais de matériel.

### ***Mardi, 6 mai 2003***

La matinée était consacrée à une discussion dans les locaux de la succursale du Landesbauamt à Hamm, en présence des MM. Schütz, Breuker, Albers et Henneken, l'ingénieur en chef de la division. Le sujet principal de cet entretien était la planification de l'IAD, avec toutes ses étapes.

En général, les centres d'entretien signalent des tronçons problématiques, que ce soient des ouvrages isolés (ponts) ou des tronçons continus avec une forte déclivité. Sur ces sections de route, on observe toujours une accumulation d'accidents et/ou une formation de congestion accrue, causée par des poids lourds sans équipement adéquat pour des conditions de verglas.

En fait, le verglas constitue le problème principal pour la région. La topographie est très marquée et ressemble par endroits aux Préalpes suisses. Les autoroutes ont été construites

avec beaucoup de virages, de nombreux ponts et des déclivités atteignant facilement 4 ou 5 %, afin d'éviter la construction de tunnels. Les centres d'entretien ont souvent des distances importantes à parcourir avant d'arriver à certains points critiques du réseau. Il y a facilement 50 km à faire, ce qui nécessite beaucoup de temps en conditions difficiles et, souvent, avec en plus de la congestion qui s'est formée.

Les chutes de neige sont plus rares, mais les IAD aident dans ce cas à éviter que cette neige puisse s'accrocher au revêtement et être compactée par les véhicules, ce qui aboutirait à du verglas également.

Dès qu'un endroit particulier est reconnu, une demande de financement du projet est présentée au ministère des transports. Cette demande contient en général une brève description du projet, ainsi qu'un calcul coût-bénéfice de l'ouvrage prévu. Les critères principaux pour ce calcul sont les coûts d'installation et d'exploitation du côté des coûts et la diminution des accidents, l'économie en heure de congestion et en coûts d'exploitation des véhicules pour l'utilisateur du côté des bénéficiaires.

La demande est traitée de manière assez rapide au ministère, car la volonté d'améliorer la sécurité routière est actuellement prioritaire. Evidemment, l'installation doit être bénéficiaire selon les critères mentionnés ci-dessus. Ceci est généralement le cas et même des exemples montrent que l'installation est amortie en quelques années en ne prenant en compte que les économies faites en n'étant pas obligé d'envoyer une équipe pour traiter certains tronçons isolés.

Dans la succursale de Hamm se trouve également le centre de gestion du service hivernal (Figure 13). A partir de cette centrale, les employés gèrent les interventions des différents centres d'entretien et ils sont en contact quasi constant avec la police et le service météorologique pour l'échange d'informations. En principe, les centres d'entretien peuvent décider de manière individuelle comment répondre aux demandes de la centrale. Cette dernière a pourtant la possibilité de commander les IAD (sauf celle de Lüdenscheid, qui a un module de commande spécifique).



**Figure 13 : Centrale de gestion du service hivernal (Photos : W. Bollinger)**

L'après-midi, une deuxième visite sur le terrain a été faite, cette fois une installation très récente (1995) au Bielefelder Berg (Figure 14). Cette installation est continue sur 4 km et dans les deux directions. Les progrès de la technologie sont évidentes et résultent principalement en un équipement moins volumineux dans la station de pompage et en l'installation de têtes de giclage dans la chaussée. Tout le système hydraulique a également été revu, pour mieux assurer le fonctionnement de l'installation, même en cas d'imprévus, comme lors d'accidents.

M. Krause, employé du centre d'entretien de Herford, nous montre la station de pompage et une autre particularité de cette installation, une station pour déchlorurer l'eau de ruissellement de l'autoroute. Cette dernière a été installée en raison de la proximité d'une zone de protection des eaux. Les eaux de ruissellement sont collectées dans un premier réservoir pour enlever les hydrocarbures. Dans un deuxième réservoir étanche, les eaux de l'autoroute sont mélangées avec de l'eau de pluie, afin de dissoudre le sel avant de renvoyer l'eau dans la nature. Des capteurs mesurent constamment la concentration en chlorures, afin d'assurer le non-dépassement des valeurs limites.



**Figure 14 : Autoroute vers le « Bielefelder Berg » (Photo : W. Bollinger)**



**Figure 15 : Station pour déchlorurer l'eau avec les deux réservoirs (Photos : W. Bollinger)**

## 11.3 Questionnaire

### 11.3.1 Questions

# QUESTIONNAIRE

## Automatic anti-icing systems – AIPCR C17

The laboratory of traffic facilities (LAVOC) at the Swiss Federal Institute of Technology (EPFL) is currently doing research on project evaluation criteria for automatic anti-icing systems. We would very much appreciate if you could spare a few minutes of your precious time in order to complete this questionnaire.

Thank you for handing it in to Mr. Ulrich Schlup, representative of Switzerland, at the end of today's session.

Name: \_\_\_\_\_ Country: \_\_\_\_\_

### I Situation in your country

1. Does your country use automatic anti-icing systems?

- Yes
- No

a) If yes, how many installations? \_\_\_\_\_

b) Are they used mainly on bridges or on continuous road stretches?

- Bridges
- Continuous
- Both

2. Was a decision aid method used before installing the system(s) in order to assure its efficiency or in order to establish a priority list for different projects?

- Yes
- No

a) If yes, what kind:

- Single-criterion (benefit-cost ratio, cost – effectiveness, etc.)

Which one? \_\_\_\_\_

- Multi-objective analysis (utility index, etc.)

Which one? \_\_\_\_\_

Other \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

b) Are you satisfied with the chosen decision aid method?

Why/Why not? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**II Opinion about decision aid methods**

3. Which are, in your opinion, useful criteria for the decision aid? Please indicate your priority (L = low, H = high, VH = very high)

		L	H	VH
a) Cost:	Installation cost	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Annual maintenance cost	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Other: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Benefits:	Less accidents	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Less congestion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Better use of thaw agent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Lower operation cost (reduced team and equipment)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Other: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Misc.:	Accessibility problems (distance to next maintenance yard)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Environmental issues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Local weather	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Situation (geometry, altitude, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Traffic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Other: \_\_\_\_\_     
\_\_\_\_\_     
\_\_\_\_\_     
\_\_\_\_\_

4. Can you think of other criteria that might be useful for a decision aid method?

If yes, which ones \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

May we contact you for further information about the use of automatic anti-icing systems in your country?

Yes (e-mail address? \_\_\_\_\_)

No

**Thank you very much for your participation.**

For additional comments and/or further information about the research project, please contact the research engineer in charge, Mr. Daniel Baumann:

Address: EPFL – LAVOC  
Bat. GCB  
1015 Lausanne  
Switzerland

Phone: ++41 21 693 2419  
Fax: ++41 21 693 6349  
e-mail: daniel.baumann@epfl.ch

### 11.3.2 Réponses

Au total, 12 personnes de 4 pays (France, Italie, Finlande, Etats-Unis) ont rempli et renvoyé le questionnaire. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Question	N° de réponse											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
1a	Seve ral	10	1	Seve ral	2	4	1	3	1	2	--	1
1b	Bridg	Both	Bridg	Bridg	Both	Bridg	Bridg	Bridg	Bridg	Both	--	Bridg
2	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes		Yes
2a	C-E	--	B-C	Other	B-C	Multi	--	--	--	B-C	--	--
2b	--	--	--	--	Yes	Yes	No	--	--	Yes	--	No
3a	Inst. cost	--	--	H	L	H	VH	H	L	H	H	H
	Maint. Cost	--	--	H	L	VH	H	H	H	L	H	VH
other	Efficiency on site	H	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Reliability	--	--	--	--	H	--	--	--	--	--	--
	Protect. of struct.	--	--	--	--	--	--	--	H	--	--	--
3b	Accident s	--	--	L/H	H	VH	VH	H	H	VH	VH	VH
	Congesti on	--	--	H	H	H	L	H	L	VH	L	H
	Thaw Agent	--	--	VH	H	VH	L	H	H	H	L	L
	Op. cost	H	--	VH	L	VH	L	H	VH	--	H	H
other	Corrosio n control	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	VH
3c	Access.	--	--	VH	L	VH	L	H	H	--	L	L
	Environm	--	--	L/H	H	VH	L	H	L	--	H	H
	Local weather	--	--	VH	H	VH	L	H	L	VH	H	VH
	Situation	H	--	H	H	VH	VH	H	H	VH	H	H
	Traffic	--	--	--	H	VH	VH	VH	H	VH	H	VH
	Other :											
other	Choice of thaw agent	--	--	VH	--							
4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

## 11.4 Critères NISTRA [16]

### 11.4.1 Dimension sociale

Objectifs principaux	Objectifs partiels	Indicateur(s)
G1 Assurer la desserte de base	G11 Garantir la desserte de base sur l'ensemble du territoire	G 111 Durée de trajet en voiture vers un centre régional pour les régions bénéficiant de la LIM, pondérée par le nombre d'habitants
	G12 Prendre en considération les personnes accédant difficilement aux transports et améliorer la situation des piétons et des cyclistes	G121 Attractivité pour les piétons
		G122 Attractivité pour les cyclistes
		G123 Attractivité des transports publics
G2 Encourager la solidarité sociale	G21 Protéger la santé et le bien-être des êtres humains	G211 Accidents
		G212 Victimes d'accidents (blessés et décédés)
	G22 Maintenir et encourager l'indépendance, l'individualité et la responsabilité personnelle	G221 Offre des transports publics
	G23 Comportement socialement acceptable des partenaires impliqués	G231 Conditions d'embauche dans le domaine des transports
	G24 Contribuer à l'encouragement du maintien et de la remise à neuf des centres urbains dans les zones urbaines et les centres au milieu rural	G241 Vhc-km dans le périmètre des villes
G242 Confort dans les centres régionaux en milieu rural		
G25 Répartir équitablement les coûts et les avantages		G251 Coûts du point de vue du décideur
		G252 Utilité nette du point de vue du décideur
G3 Garantir l'acceptation, la participation et la coordination	G31 Octroyer aux acteurs concernés des possibilités suffisantes de participation	G311 Attitude de la population respectivement des autorités
		G312 Aspects liés à la participation de la population
		G313 Degré de concordance avec les plans d'urbanisme

**11.4.2 Dimension économique**

<b>Objectifs principaux</b>	<b>Objectifs partiels</b>	<b>Indicateur(s)</b>	
W1 Créer un bon rapport entre les coûts directs et les avantages	W11 Minimiser les coûts directs du projet (coûts annuels)	W111 Coûts annuels du capital	
		W112 Frais d'exploitation	
		W113 Frais d'entretien	
	W12 Maximiser les avantages directs du projet (avantages annuels)	W121 Modification de la durée du trajet pour le transport de personnes dans la région	W122 Modification de la durée du trajet pour le transport de marchandises dans la région
			W123 Modification des coûts fixes liés aux véhicules pour le trafic commercial et le de marchandises
			W124 Modification des coûts variables liés aux véhicules pour le transport de personnes et de marchandises
			W125 Risques d'embouteillage / temps de réserve
			W126 Kilomètres parcourus, pondérés suivant le standard d'aménagement de la route/le confort des usagers
			W126 Kilomètres parcourus, pondérés suivant le standard d'aménagement de la route/le confort des usagers
	W13 Réaliser le projet de manière optimale	W131 Durée de réalisation	W132 Risque global du point de vue technique et économique
W133 Réalisation par étapes			
W2 Optimiser les effets économiques indirects	W21 Améliorer l'accessibilité en tant que partie intégrante des avantages économiques liés à la situation géographique	W211 Degré d'attractivité sur la base des modifications de la durée du trajet	
	W22 Créer et maintenir des conditions territoriales pour l'économie (renforcer les villes et les agglomérations en tant que lieu de travail)	W221 Durée du trajet entre les villes principales, pondérée par le nombre d'habitants	
	W23 Soutenir un développement économique équilibré sur le plan régional	W231 Avantages et inconvénients de l'amélioration de la desserte	
	W24 Réaliser un gain de savoir-faire	W241 Effets de l'innovation dans la construction ou dans la gestion du trafic	
W3 Atteindre la rentabilité	W31 Atteindre la rentabilité	W311 Degré d'autofinancement sans les coûts externes	
		W312 Degré d'autofinancement, coûts externes compris	

**11.4.3 Dimension environnementale**

<b>Objectifs principaux</b>	<b>Objectifs partiels</b>	<b>Indicateur(s)</b>	
U1 Réduire à long terme les atteintes environnementales, sur le plan régional, local et transfrontalier, imputables aux transports	U11 Réduire les polluants atmosphériques	U111 Emissions de NOx U112 Emissions de PM10	
	U12 Réduire les nuisances sonores	U121 Personnes soumises au bruit excessif à leur domicile U122 Personnes soumises au bruit excessif dans les zones de protection et de détente	
	U13 Réduire l'utilisation du sol	U131 Utilisation du sol	
	U14 Réduire la dégradation du paysage et du cadre de vie	U141 Effets de la fragmentation hors des centres urbains	U142 Paysage et image du site
			U143 Capacité sollicitée en décharges
	U15 Réduire les effets préjudiciables sur les eaux	U151 Pollution des eaux	
U2 Réduire les polluants atmosphériques qui détériorent le climat	U21 Réduire l'impact sur le climat	U211 Emission de gaz	
	U22 Maintenir la couche d'ozone	<i>Pas d'indicateur</i>	
U3 Préserver les ressources	U31 Réduire la consommation d'énergie non-renouvelable	U311 Consommation d'énergie	
	U32 Limiter la consommation des ressources naturelles	U321 Consommation en gravier non concassé	