

# LE PROGRAMME DE CARTOGRAPHIE THERMIQUE SUPPORT DE LA DECISION DES EPANDAGES

Thierry LEDENT  
Attaché  
Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports  
District autoroutier de CHARLEROI  
Rue de la Tombe, 110 - Marcinelle  
phone: +32 71 60 10 71  
fax: +32 71 60 10 89  
E-Mail : tledent@met.wallonie.be

## Résumé

Cinquante stations météorologiques automatiques quadrillent le territoire wallon. Elles captent des paramètres atmosphériques et de climatologie routière en permanence. Ces paramètres sont envoyés systématiquement par le réseau au centre de permanence PEREX (permanence d'exploitation) et au WING METEO de la Force aérienne qui réalisent des prévisions climatiques à court terme au droit de chacune des stations principales. Plus de 78000 mesures climatiques ainsi que plus de 43000 mesures issues des capteurs routiers sont traitées automatiquement chaque jour.

L'objectif est aujourd'hui atteint : nous recevons une courbe de prévision de température de surface du sol au droit de chaque station principale – soit 16 prévisions différentes, cela pour les 18 heures à venir.

Une information de prévision météorologique par tranche de trois heures précise certains paramètres tels que la couverture nuageuse, le risque de précipitation et la force du vent.

La climatologie de la région wallonne est très complexe, cela est dû à son relief très variable, une très faible influence des courants maritimes et une exposition à des vents dominants du sud-ouest. Les prévisions de température de surface de la chaussée sont dès lors insuffisantes pour se rendre compte du danger sur la longueur totale du réseau. Pour pallier l'imprécision spatiale de la prévision de température de surface de la chaussée, un programme de cartographie thermique a été créé pour permettre aux agents de décision de visualiser l'évolution du comportement de la voie lente.

Il est possible de générer des cartes de températures de surface du réseau complet du territoire de la région wallonne tant instantanément que de façon prévisionnelle.

### La méthode s'est basée sur les principes suivants :

- La mesure de température de surface tous les 12.5 m sur tout le réseau et dans 3 cas de types de temps.
- L'analyse de la relation spatiale par le laboratoire de climatologie de l'université de Liège.
- L'intégration de plages de température en tenant compte de tronçons de 1km.
- L'intégration de la zone d'influence de toutes les stations météo principales.
- La création d'itinéraires se référant à la base de données routières existante.
- L'adaptation d'un logiciel de cartographie propre à chaque type de gestionnaire.
- La présentation conviviale des résultats sur les 54 terminaux locaux des gestionnaires de réseau.
- Un écolage à l'utilisation du logiciel.

La génération de cartographies thermiques prévisionnelles ou instantanées vient compléter l'outil de décision Météoroutes. Les informations complémentaires issues de la cartographie thermique permettent aux agents de coordination de réaliser des épandages plus localisés et mieux dosés ainsi que de prévenir les usagers par le biais du centre PEREX et de Radio Trafic.

Chaque pays, chaque région est consciente de la difficulté de maintenir des conditions de circulation minimales sur son propre réseau de routes et d'autoroutes.  
Les gestionnaires dépensent une énergie considérable en moyens humains et financiers pour assurer à la viabilité hivernale du territoire.

La Région Wallonne n'échappe pas à la règle et l'on considère que près de la moitié du budget annuel des entretiens routiers est affectée à réaliser les épandages de fondants sur le réseau.

En analysant ces dépenses importantes il ressort principalement trois causes :

1. En hiver, le climat de la Région Wallonne est souvent caractérisé par une alternance de gel nocturne et de température positive pendant la journée.
2. Le relief très variable de la Wallonie ne bénéficie que très peu de l'influence maritime. Les vents dominants viennent du Sud-Ouest.
3. Le plan d'organisation du service d'hiver invite les gestionnaires à conserver les routes « au noir » ; soit parfaitement dégagées.

Ce dernier point fait l'objet d'une approche plus administrative et nous allons approfondir l'analyse de chapitres plus scientifiques.

Avant la création de projet METEOROUTES, les districts autoroutiers et routiers s'organisaient à partir des prévisions météorologiques nationales qui étaient trop imprécises dans le temps et dans l'espace pour pouvoir organiser des épandages préventifs efficaces. Cela se traduisait généralement par des épandages trop tôt avant l'arrivée du danger. Le sel était dispersé et par conséquent perdait son efficacité.

Pour palier toutes ces imprécisions et pour maintenir les meilleures conditions de trafic possibles, le Ministère de l'Équipement et des Transports a investi dans la création d'un outil d'aide à la décision : METEOROUTES.

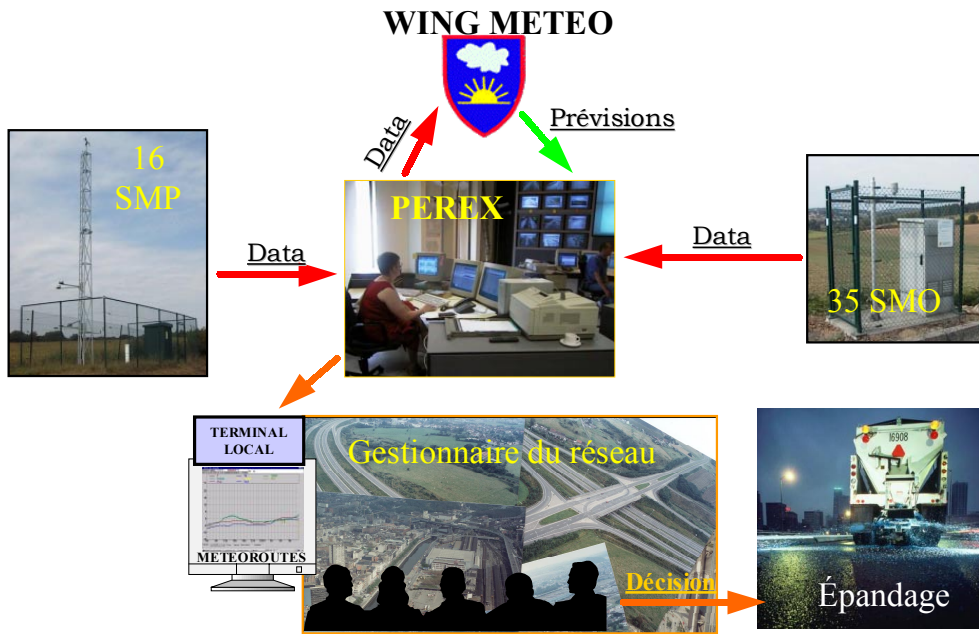
Sous les conseils du Professeur ERPICUM de l'Université de Liège, 16 stations météorologiques ont été implantées de telle manière qu'elles encadrent la région et qu'elles nous indiquent l'arrivée de fronts de froid d'où qu'ils viennent. Elles sont presque toutes installées le long du réseau autoroutier où nous pouvons jouir de notre propre réseau électrique et de communication. Trente-cinq stations secondaires viennent compléter des informations propres à la climatologie routière.

Ces dernières se différencient par le fait qu'elles ne mesurent pas les radiations, le vent et la pluie.

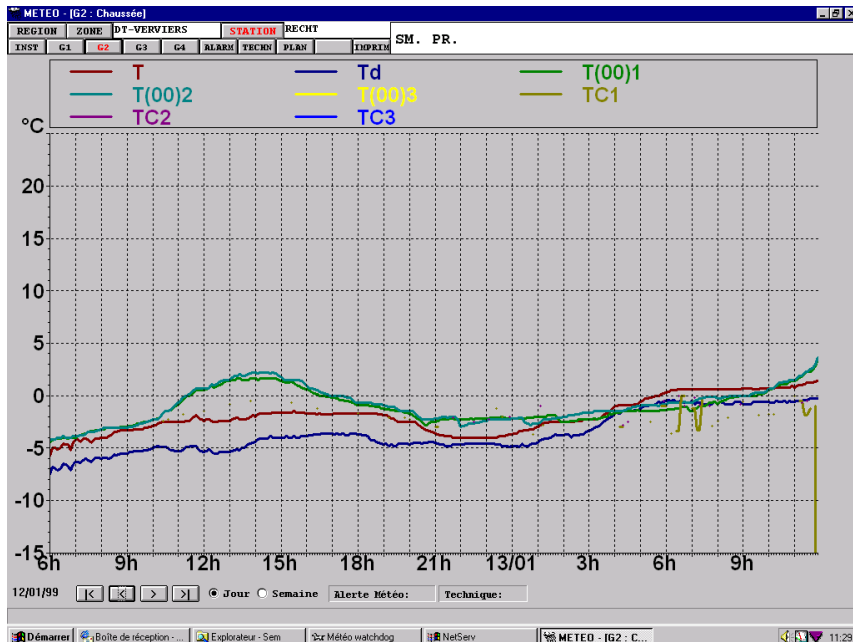
L'objectif poursuivi est de créer un système de prévision de température de surface de la chaussée au droit de chaque station principale .

Le projet a été piloté par un comité d'accompagnement composé d'experts du M.E.T. (des directions des routes, des télécommunications et de l'électromécanique), l'Université de Liège et la cellule « prévisions », du METEO WING de la Forcé aérienne.

Le schéma d'échange de communication tient compte d'une structure hiérarchique bien étudiée.



Le programme dans sa finalité permet aux gestionnaires de réseau de consulter sur un terminal local situé au district les valeurs mesurées par les capteurs toutes les 6 minutes. Ces valeurs se lisent soit sur un tableau instantané, soit sur un graphique qui fait apparaître un historique de 24h. Il est possible au gestionnaire de faire des requêtes historiques. Toutes les valeurs sont mémorisées pour un mois dans la machine locale et les valeurs antérieures (jusqu'à deux ans) peuvent se télécharger par réseau.



Tous les jours vers 16h, un graphique de prévision de la température de la surface de la chaussée est accessible sur le terminal local. Cette courbe de prévision est calculée par un logiciel installé au centre de prévision de la force aérienne.

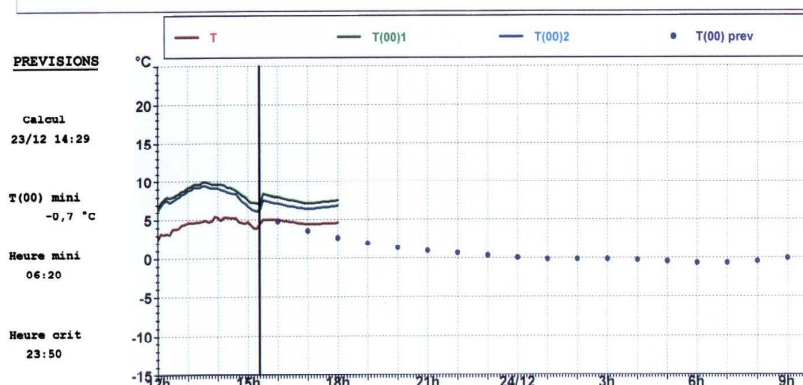
Sur base de la météorologie générale axée sur les données européennes de 15h, le prévisionniste initialise sa base de calcul pour les 16 stations principales. Il introduit des facteurs locaux tels que la température de la surface de la chaussée et à 20cm de profondeur, la vitesse et la direction du vent et les rayonnements.

Le prévisionniste s'assure également que le type de temps est conforme aux prévisions de la nuit à venir.

C'est-à-dire que suite aux observations de la couverture nuageuse et du vent, il y a lieu de choisir un type de temps qui va influencer l'allure de la courbe de refroidissement de la chaussée.

- Un type de temps clair (sans nuage) et calme (sans vent) générera une courbe de refroidissement fort prononcée.
- Un type de temps couvert (nuageux) et venteux générera une courbe de refroidissement très plate.
- Un type de temps intermédiaire, soit nuageux et calme ou clair et venteux générera une courbe de refroidissement moyennement prononcée.

COURRIERE 23/12/98 15:25:07								
PREVISIONS	12-15	15-18	18-21	21-00	00-03	03-06	06-09	09-12
VENT	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE
CTEL	NUAGEUX	NUAGEUX	NUAGEUX	NUAGEUX	TRES NUAGEUX	TRES NUAGEUX	TRES NUAGEUX	NUAGEUX
RISQUE DE PPN					NEIGE FAIBLE	NEIGE FAIBLE	NEIGE FAIBLE	



A l'heure actuelle les gestionnaires des routes et autoroutes analysent les prévisions de température de surface de la chaussée vers 16h et peuvent organiser les équipes de garde ou d'épandage afin d'optimiser le service rendu à l'utilisateur.

Il restait néanmoins une question fondamentale à résoudre. En effet, si nous pouvions « prédire » dans le temps les températures de surface, elles ne concernent que 16 points localisés sur un réseau de plus de 8500 km de routes et d'autoroutes.

C'est pourquoi un programme de mesure d'empreintes thermiques a été lancé sur le réseau. Celui-ci allait résoudre le problème spatial de la température de la route en générant une carte thermique.

### La cartographie thermique

L'objectif de la cartographie thermique consiste à transposer la température de la surface de la chaussée et le type de temps connus aux droit des stations principales, à l'ensemble du réseau routier par l'exploitation des empreintes thermiques.

### Les empreintes thermiques

Les empreintes thermiques ont été développées par le laboratoire de Topo climatologie de l'Université de Liège.

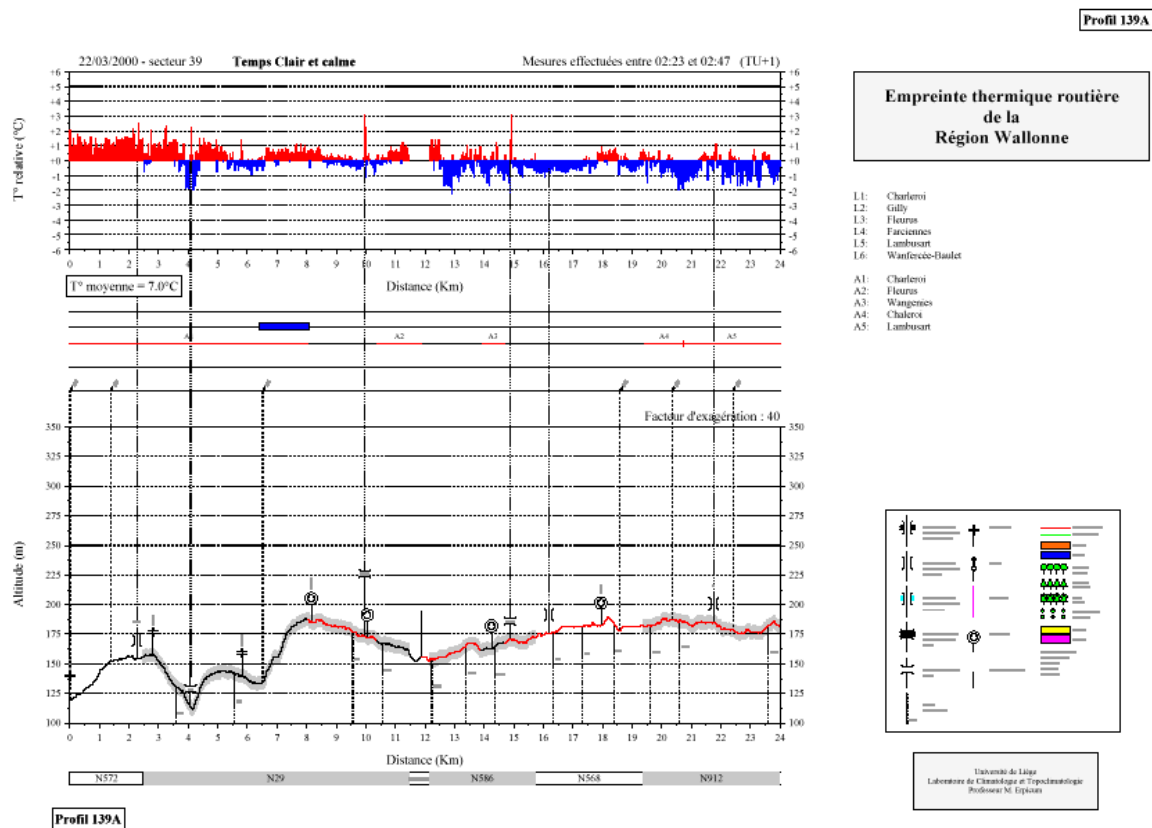
Elles ont été réalisées pendant la deuxième partie de la nuit pour échapper à l'énergie solaire et éviter les trop grandes variations de températures au cours des mesures. Trois types de temps expliqués ci-dessus ont été considérés

- clair et calme
- intermédiaire
- couvert et nuageux

Les empreintes thermiques ont été relevées dans les deux sens de circulation le long du réseau autoroutier.

Au niveau des routes, un seul relevé a été fait pour toute la chaussée à double sens.

Les mesures consistent à enregistrer les températures de la surface de la route au moyen d'un radio-thermomètre sophistiqué monté sur un véhicule et permettant l'enregistrement après traitement du signal capté. Le repérage des bornes hectométriques est utilisé pour faire correspondre exactement les repères avec la banque de données routière centrale. Pour éviter les perturbations du signal infrarouge capté par le radiomètre, les empreintes thermiques ont toujours été réalisées sur revêtement routier sec.



Les températures moyennes de surface sont enregistrées tous les 12,5m le long de tronçons de 24 km. Le repérage des ouvrages d'art, des parties boisées, habitées, des carrefours... permettent de mettre en évidence les particularités de chaque circuit. Après analyse, ces données sont transmises à la S.A.CAP GEMINI qui a reçu pour mission d'intégrer ces valeurs dans le logiciel « ARCVIEW GIS » et de présenter un outil utilisable par les agents de coordination du service d'hiver.

Il a été considéré des tronçons de routes de 1 km car il n'est pas utile de référer à une échelle plus fine et inutilisable en réalité.

## Le traitement des mesures

### 1. Validité de la campagne de mesure.

Cela consiste à confirmer la validité des campagnes de mesures en éliminant celles qui présentent des anomalies telles que manquement de données, non-concordance des distances...

### 2. Homogénéité de la couverture nuageuse.

A partir du bilan atmosphérique, on sélectionne les campagnes de mesures qui correspondent le mieux à un type de temps constant durant toute la période de prise de mesures. Cela est réalisable grâce aux données mesurées par un pyrgéomètre durant toute la campagne.

### 3. Sélection de la campagne la plus représentative.

Après l'hiver, on sélectionne la campagne de mesures la plus « pure » pour chaque type de temps et il en résulte 3 empreintes thermiques en temps réel.

### 4. Report des données à la même heure.

Cela consiste à transposer toutes les données mesurées à 6 h du matin afin de réaliser une courbe de variation de température indépendante du facteur temps. C'est-à-dire que la courbe de température représente des valeurs qui auraient été prises toutes en même temps à 6 heures du matin. Il est utilisé pour cela un facteur de pondération faisant intervenir les distances des 3 stations principales les plus proches suivant une règle qui est définie ci-après.

### 5. Association aux tronçons de routes.

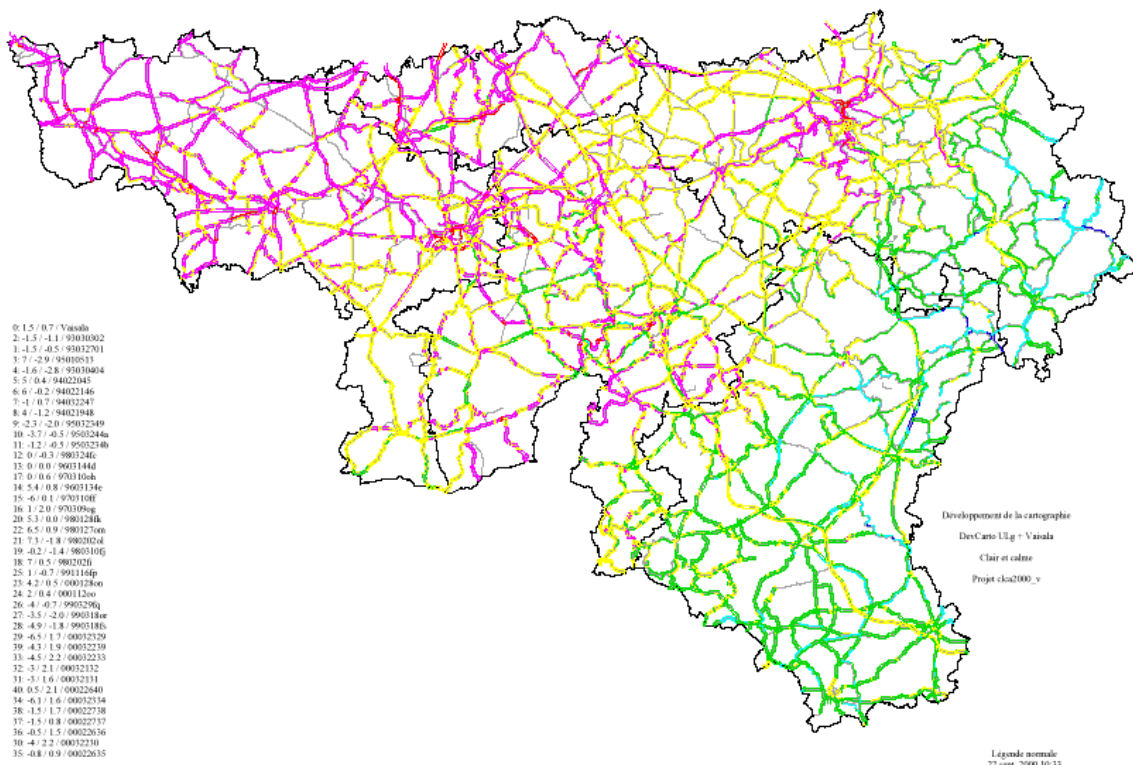
Le réseau routier et autoroutier a été divisé en tronçon de 1 km (entre 2 bornes kilométriques) La température moyenne de 80 valeurs tous les 12,5 m générée par l'empreinte thermique est associée à chaque tronçon.

### 6. Correspondance des secteurs.

Chaque empreinte thermique correspond à une zone de prises de mesures ; c'est un secteur. Il est obligatoire de faire correspondre les données qui sont communes à 2 voire plusieurs secteurs se jouxtant. Un outil a été créé pour faire correspondre les recouvrements de secteurs.

### 7. Création de la cartographie thermique de référence :

Les données mesurées définitives sont visualisables sur une carte pour les 2 types de temps extrêmes. Pour le type de temps intermédiaire on considère la moyenne arithmétique des valeurs extrêmes.

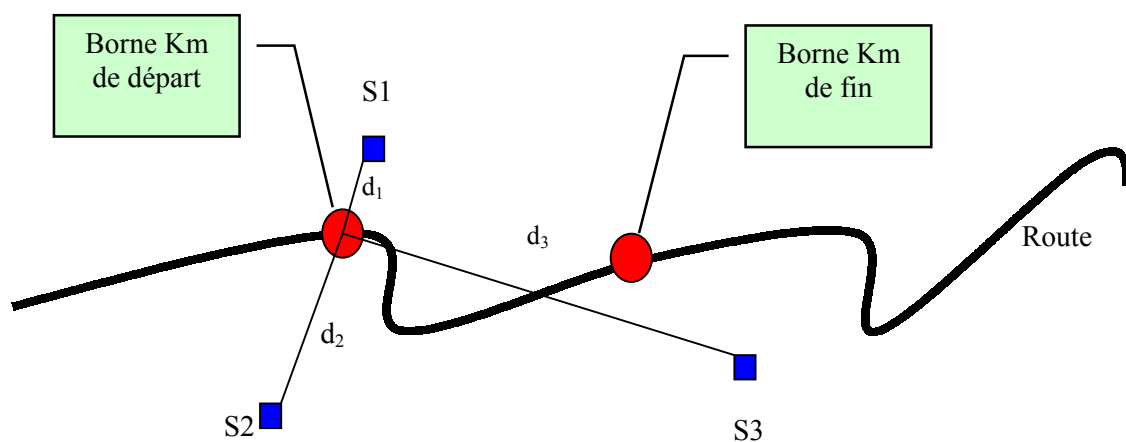


## Calcul de la température des tronçons

Afin de déterminer la température d'un tronçon de route sur base des conditions climatiques instantanées ou prévisionnelles observées au droit des stations météo, le laboratoire de climatologie de l'Université de Liège a associé à chaque tronçon de route 3 stations météo principales influençant celui-ci.

- Station S1 = station primaire (la plus proche)
- Station S2 = station secondaire (intermédiaire)
- Station S3 = station tertiaire (la plus éloignée)

La température des tronçons est calculée en pondérant l'influence de chaque station en fonction de la distance qui existe entre la station et le début du tronçon considéré.



Les facteurs de pondération associés à chaque station météo sont calculés comme suit :

$$p_1 = \frac{1/d_1}{1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3}$$

$$p_2 = \frac{1/d_2}{1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3}$$

$$p_3 = \frac{1/d_3}{1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3}$$

$$T_{\text{tronçon}} = \sum_{i=1}^3 [t_i + (\Delta \text{ tronçon} - \Delta \text{ station } i)] * p_i$$

où

- $T_{\text{tronçon}}$  = température du tronçon (instantanée ou prévisionnelle)
- $t_i$  = température au droit de la station  $i$
- $\Delta \text{ tronçon}$  = température du tronçon fournie par l'empreinte
- $\Delta \text{ station } i$  = température du tronçon au droit de la station fournie par l'empreinte
- $p_i$  = facteur de pondération associé à la station  $i$  pour le tronçon

Les facteurs de pondération sont appliqués selon la règle suivante :

- Si la station météo primaire est défectueuse (absence de température ou de type de temps), les coefficients de pondération des stations secondaire et tertiaire sont calculés sur une base d'une règle de trois en considérant que  $p_2 + p_3 = 1$ .  
Pour que le calcul se génère, il faut que les stations secondaire et tertiaire soient opérationnelles. Dans la cas contraire, il n'y a pas de cartographie pour les tronçons.
- Le même principe est appliqué si une des autres stations est défectueuse.

Le type de temps observé au droit de chacune des stations météo principales définit celui du tronçon considéré. Si ce type de temps n'est pas connu, le système se réfère au type de temps de la station secondaire.

Les types de temps sont choisis par les critères suivant :

VENT en nœuds		Low clouds								Medium clouds								high clouds																									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8															
calme et faible	0	1		3				2								1		3				2								1				3		2							
	1																																										
	2																																										
	3																																										
	4																																										
	5																																										
	6																																										
	7																																										
	8																																										
9																																											
modéré	10	1		3				2								1		3				2								1				3		2							
	11																																										
	12																																										
	13																																										
	14																																										
	15																																										
	16																																										
17																																											
venteux	18	2								2								2								2																	
	19																																										
	20																																										

- 1 = type de temps clair et calme
- 2 = type de temps couvert et venteux
- 3 = type de temps intermédiaire

L'échelle de couverture nuageuse est observée en huitième de « obstruction du ciel par les nuages », à basse, moyenne et haute altitude.

### La visualisation.

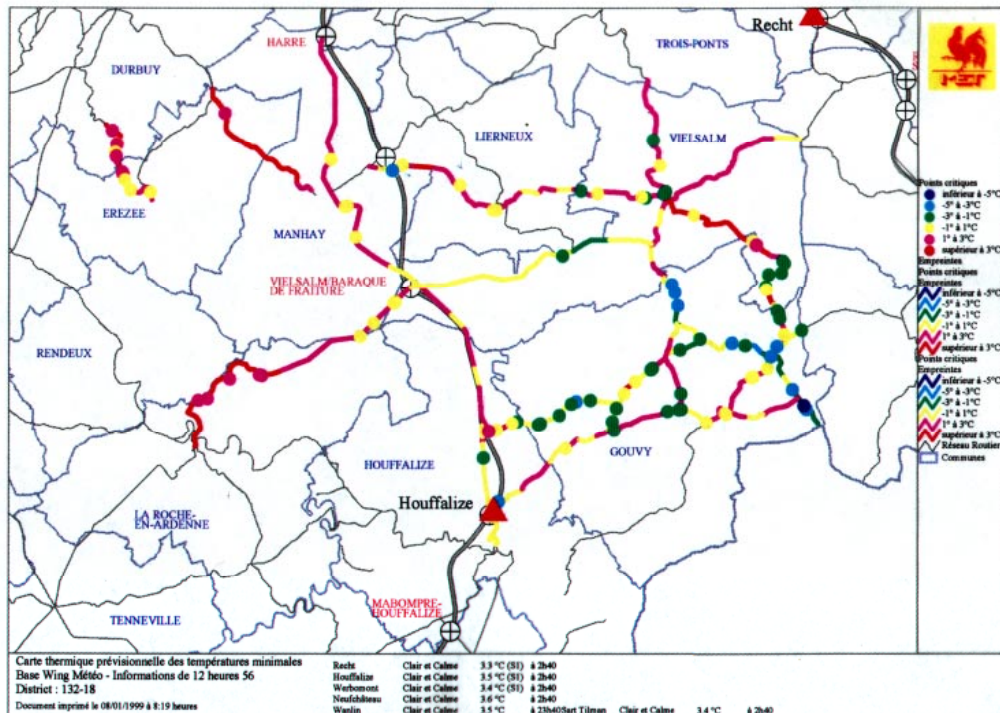
Trois types de configuration de la cartographie thermique sont possibles :

- La vision du « district » pour les gestionnaires locaux ;
- La vision des « directions territoriales » ;
- La vision « PEREX » pour le centre de coordination de toute la Région Wallonne.



Les utilisateurs peuvent se rapporter à une cartographie instantanée. Les tronçons de routes sont coloriés par plages de 2°C. Sur l'écran apparaissent également des points critiques qui correspondent à un lieu où la température de la surface de la chaussée est inférieure d'une classe de température à la moyenne du tronçon considéré.

Il est possible également de générer une cartographie prévisionnelle qui se réfère aux prévisions pour la nuit à venir. C'est-à-dire que vers 16 heures, les gestionnaires ont la possibilité de consulter des cartes de températures de surface pour 21 h, 24 h, 03 h, 6 h et à l'heure où la température minimale sera prévue à la station.



## Conclusions

Cet outil est extrêmement précis et offre aux gestionnaires les avantages suivants :

- Programmer les gardes des agents de coordinations et des inspecteurs de réseau.
- Programmer l'heure de l'épandage optimal juste avant l'apparition du danger.
- Programmer des épandages plus localisés et réaliser des économies de sel.

Par contre les inconvénients ne sont pas négligeables:

- L'accumulation des erreurs de mesures au droit des stations, des prévisions, des empreintes, du choix du type de temps, et de la cartographie finissent parfois par ne plus correspondre à la réalité. Cela est surtout remarquable à l'utilisation des cartes thermiques prévisionnelles pour la fin de nuit et en type de temps intermédiaire.
- La grande précision de la cartographie ne conforte pas toujours la décision d'épandage. Les coordinateurs du service d'hiver rencontrent très souvent des situations où la température de surface d'un circuit d'épandage fait douter de la nécessité d'un épandage.
- La cartographie thermique ne représente que des températures de surface de chaussées. Il faut évidemment tenir compte de l'humidité relative de l'air et des risques de précipitations. Pour cette raison une analyse doit être faite au moyen des données du terminal local et par une inspection sur le réseau.

Cet outil est donc à peaufiner pour le rendre plus utilisable avec des prévisions et devrait intégrer des niveaux de services qui argumenteraient une méthodologie de prise de décision légale.