

ANALYSE DU REFROIDISSEMENT APRES MINUIT DE LA TEMPERATURE DE LA CHAUSSEE EN WALLONIE

M. ERPICUM, G. MABILLE et S. MARCZUK

*Université de Liège, Département de Géographie Physique, Laboratoire de Climatologie
et de Topoclimatologie, Sart-Tilman, Bât. B11, 4000-Liège, Belgique,
e-mail: Michel.Erpicum@ulg.ac.be*

Résumé:

La cartographie et l'analyse du refroidissement nocturne hivernal des chaussées constituent des thèmes actuels de climatologie appliquée. Les travaux de Hertl, Schaffard, Turunen, Shao et Lister en constituent la meilleure preuve. L'ajustement de paraboles au refroidissement nocturne de la chaussée a été calculé. Les paraboles dont le coefficient de détermination avec la courbe de la température réellement observée était supérieur à 0,95 ont été analysées plus en détails. Les corrélations entre les coefficients des équations de ces paraboles ne sont pas très bonnes avec les variables météorologiques car les variations de la température de la chaussée sont fortement dépendantes des fluctuations de courte durée des variables météorologiques tel le vent. Selon que les nuits sont couvertes ou radiatives et que les journées précédentes ont été plus ou moins ensoleillées, les refroidissements nocturnes sont très différents. Le refroidissement après minuit atteint toutefois exceptionnellement 5°C.

Abstract:

The cartography and the analysis of the cooling of the roadways on winter nights are current topics of applied climatology. Works of Carrière, Hertl, Schaffard, Turunen, Shao and Lister constitutes the best proof of it. The adjustment of parabolas to the night cooling of the roadway was calculated. The parabolas whose coefficient of correlation with the temperature curve really observed was higher than 0,95 were analyzed more in details. The correlations between the equation coefficients of these parabolas are not very good with the weather variables because the variations in the temperature of the roadway are strongly dependent on the short fluctuations of the weather variables like the wind. According to whether the nights are covered or radiative and whether the previous days were more or less sunny, night coolings are very different. The cooling after midnight exceptionally reaches however 5°C.

Mots-clés: température de la chaussée, refroidissement parabolique, Région Wallonne.

Key-words: road surface temperature, parabolic cooling, Walloon Region.

Introduction

Cette recherche a été menée dans le cadre d'une convention de thermographie routière en période hivernale pour le Ministère de l'Équipement et du Transport de la Région Wallonne. La période du 1^{er} octobre 1997 au 15 avril 1998 a servi de base de données pour cette analyse.

L'évolution nocturne de la température après minuit, mesurée à la surface du revêtement routier, suit normalement un modèle parabolique (les coefficients de détermination sont souvent > 0.95).

L'objectif de cette contribution est d'estimer les paramètres de la courbe de refroidissement de la chaussée à l'aide d'équations de la parabole qui tiendraient compte des paramètres météorologiques mesurés avant et pendant les refroidissements nocturnes.

Les résultats doivent permettre de mieux cerner et prévoir les refroidissements de la chaussée pour la sécurité des utilisateurs du réseau routier de Wallonie.

1. La parabole

Les stations météorologiques fournissent leurs informations toutes les six minutes. Pour toutes les stations (50 stations) et toutes les nuits de l'hiver 1997-1998 (195 nuits), les paraboles les mieux ajustées au refroidissement de la surface de la chaussée (entre 22h00 et 8h00, TU+1) ont été calculées à l'aide d'un programme inspiré d'un algorithme tiré de Miller, 1982 et mis au point au Laboratoire de Climatologie (Ulg) qui permet d'obtenir le meilleur ajustement de courbes paraboliques selon la méthode des moindres carrés.

$$y_c = ax^2 + bx + c$$

$$r = ax^2 + bx + c - y_m$$

avec y_c = température fournie par le modèle

et y_m = température mesurée à 6h00, TU+1

Les résidus (r) de l'ajustement sont d'abord élevés au carré avant d'être additionnés. Pour minimiser les résultats, nous prenons les dérivées partielles (par rapport à a , b et c), et on égalise les expressions résultantes à zéro. Il y a ainsi trois équations d'ajustement parabolique, chacune relative à une variable. La solution de l'ajustement parabolique peut être obtenue en résolvant le système formé par ces équations.

Plus le coefficient de détermination est proche de l'unité, plus l'équation parabolique représentée est un bon ajustement du refroidissement de la surface de la chaussée.

La variable c est l'ordonnée à l'origine. Il s'agit en fait de la température de la surface de la route à 22 heures (TU+1). Cette heure a été choisie comme référence car elle permet d'envisager une estimation, 8 heures à l'avance, de la température de la chaussée en fin de nuit en fonction des conditions thermiques de la veille. Enfin, en choisissant cette période de la nuit, les ajustements paraboliques sont excellents lorsque le type de temps n'évolue pas.

La dérivée première donne pour chaque point de la parabole la valeur de la pente:

$$y' = 2ax + b$$

Dans le cas du refroidissement nocturne, y' est toujours négative, b représente dans notre analyse, la pente de la parabole à 22 heures. La variable a est le paramètre lié à la concavité de la parabole. Ce dernier constitue une des caractéristiques du refroidisse-

ment de la nuit mais ne varie pas pendant le refroidissement. Sa valeur est donnée par la dérivée seconde:

$$y''=2a$$

Le signe de a détermine la concavité de la parabole: si $a < 0$, la parabole est convexe; si $a > 0$, la parabole est concave, comme dans le cas de notre étude. Seules les paraboles ayant un coefficient de corrélation supérieur à 0,95 et les coefficients a et b respectivement supérieur et inférieur à zéro ont été retenues (refroidissement régulier).

2. Composition de la base de données pour l'analyse des températures

Les données utilisées sont mesurées toutes les six minutes dans 15 stations prévisionnelles (équipement complet), complétées par un réseau de 35 stations opérationnelles (équipement limité aux mesures de températures et de précipitations). Sur 50 stations disponibles, nous avons écarté celles ayant plus de 5 % de données manquantes. Cela concerne les stations suivantes: Mariembourg (SM.PR.) et les stations opérationnelles de Sauvenière, Hollogne, Ath, Estinnes, Sélignes, Jalhay, Spa, Bullange, Warnton et Glimes. Le nombre de stations analysées est donc ramené à 39.

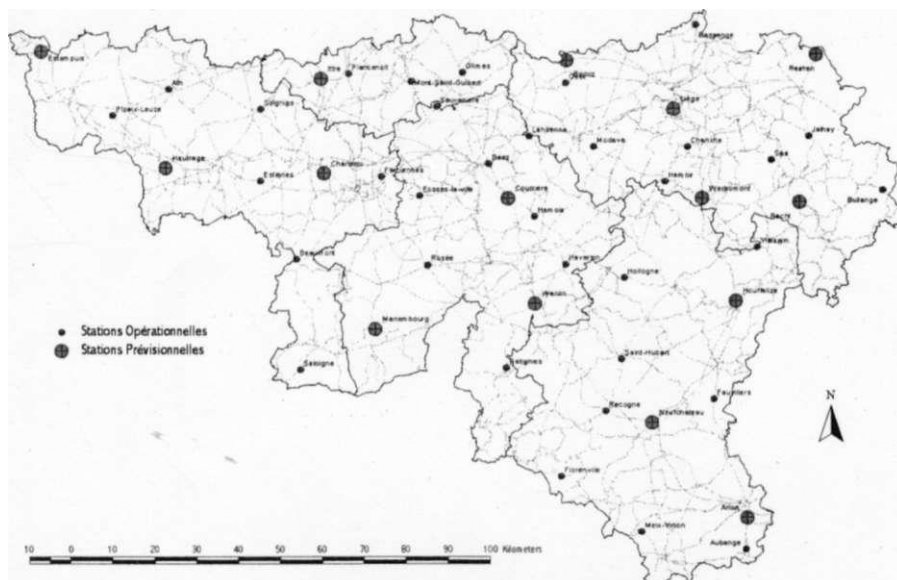


Figure 1 : les stations météorologiques de la Région Wallonne.

3. Variation de la température de la chaussée entre minuit et 6 h

Nous avons calculé la fréquence des écarts de température entre 0h et 6h par classes de 1 °C (Fig.2). Il apparaît que 55% des nuits subissent un refroidissement, après minuit, compris entre -2 et 0°C, que deux nuits sur trois subissent un refroidissement

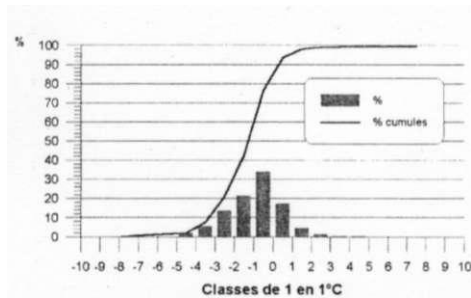


Figure 2: Fréquence de variation de la température de la chaussée entre minuit et 6h.

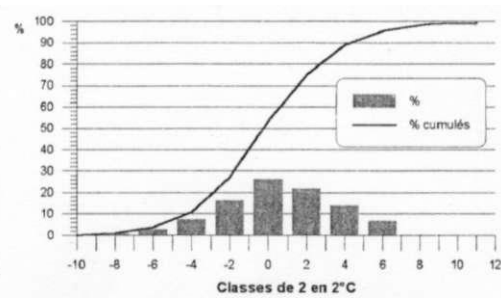


Figure 3: Fréquence de la variation de la température moyenne du point de rosée (calculée la veille entre 12 et 15h) et la température de la chaussée à 6h.

compris entre -3 et 0°C . 86% des refroidissements sont inférieurs à 4°C pour autant que la situation météorologique soit homogène. Certains refroidissements ou réchauffements peuvent toutefois atteindre 8°C en valeur absolue. L'analyse des plus forts refroidissements montre qu'ils sont mesurés dans la province de Luxembourg, région la plus vallonnée de Belgique (Arlon, Aubange, Recogne, Meix-Devant-Virton, Florenville, Vielsalm, Patignies et Saint-Hubert), ainsi qu'à la station de Beez, seule station située sur un viaduc (sur la Meuse à l'est de Namur à un endroit réputé pour ses nombreux brouillards). Les dates mises en évidence par l'analyse des valeurs extrêmes montrent que les plus fortes variations de températures sont observées lorsqu'il y a un changement de temps avant la nuit. A titre d'exemple, la nuit du 09/03/98 correspond à un fort refroidissement quasi généralisé de la surface de la chaussée suite notamment à la disparition soudaine et complète de la couverture nuageuse.

4. Différence entre la température du point de rosée (moyenne de 12 à 15h la veille) et la température de la chaussée à 6h

Pour pouvoir mettre en évidence des écarts de température extrêmes, nous avons volontairement élargi l'amplitude des classes à 2°C , centrées sur zéro $^{\circ}\text{C}$. Après cela, nous avons calculé la fréquence de variation des écarts entre les deux températures en fonction de ces nouvelles classes (Fig. 3). Les rejets concernent, ici, 0,8% des données. Il ressort de cette statistique que pour deux nuits sur trois la température de la chaussée à 6h est inférieure au td_{moy} de la veille. La moitié des nuits de la période concernée ont une température de la chaussée à 6h proche de la température moyenne du point de rosée de la veille à $\pm 2^{\circ}\text{C}$ près. 90 % des nuits se présentent avec un écart entre $t_{00}(6h)$ et la température du point de rosée de la veille de plus ou moins 5°C . Nous nous sommes donc focalisés sur l'étude des nuits pour lesquelles la variation td (la veille)- $t_{00}(6h)$ était supérieure à 5°C en valeur absolue. Nous avons sélectionné les nuits extrêmes communes au plus grand nombre de stations. Il s'agit des 09/03/98 (pour 37 stations), nuit déjà mise en évidence précédemment, 01/02/98 et 15/02/98 (pour 36 stations), 14/02/98 (pour 32 stations) et 10/01/98 (pour 31 stations).

5. Analyse des 5 cas extrêmes

5.1. Le 9 mars 1998 et le 12 février 1998

La nuit du 09/03/98 a connu les valeurs extrêmes aussi bien pour les écarts de température de la chaussée entre minuit et 6h que pour la différence entre le Td_moy de la veille et la température de la chaussée à 6h. Cette nuit a subi un changement de temps dû au passage d'un front froid et l'influence d'une crête anticyclonique positionnée du Groenland aux Pays-Bas (axe quasi N-S). Cette configuration barométrique contribue à amener de l'air polaire direct correspondant à une très forte variation du point de rosée. La nébulosité est importante en début de nuit mais le ciel se dégage rapidement suite à la subsidence dans la crête anticyclonique. Si nous comparons les paraboles de la température de la chaussée aux stations du réseau, nous constatons deux types de situation. Le premier type correspond aux stations où le front froid est déjà passé, le ciel est dégagé dès le début de la soirée (vers 20h00) et le refroidissement parabolique est normal (l'exemple de la station de Berloz fig.4).

Le deuxième type correspond aux stations qui ont connu une couverture résiduelle du ciel après le passage du front (temps advectif) en première partie de nuit et seulement ensuite l'influence de l'anticyclone (temps radiatif) (cas de la station d'Houffalize). Dans ce deuxième cas, le refroidissement est plus intense après 2h30 et le risque de givre est plus important.

La nuit du 01/02/98 correspond à une situation météorologique semblable avec un anticyclone situé sur l'Allemagne et un front froid situé sur le N-E de la France.

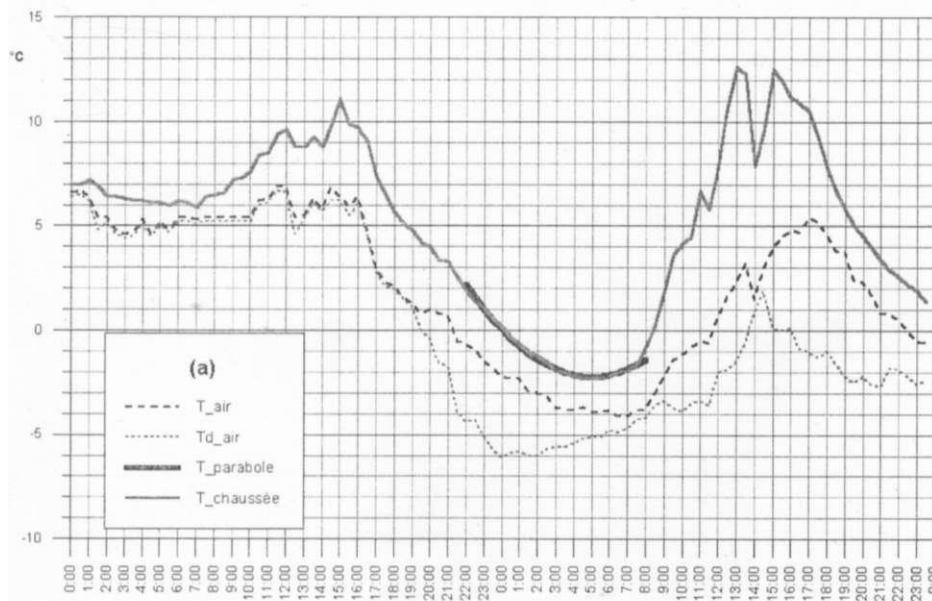


Figure 4(a): Représentation de la parabole à la station de prévisionnelle de Berloz la nuit du 9 mars 1998

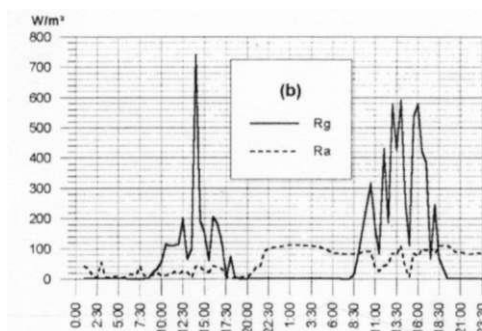


Figure 4(b): Représentation du rayonnement (RG et Ra) à la station de prévisionnelle de Berloz la nuit du 9 mars 1998

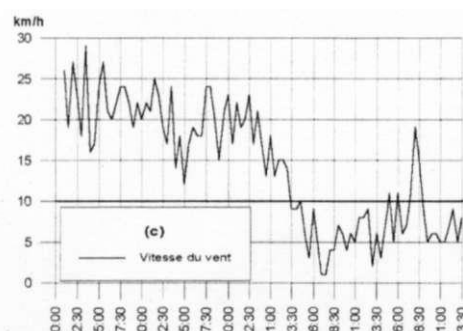


Figure 4(c): Représentation de la vitesse du vent (c) à la station de prévisionnelle de Berloz la nuit du 9 mars 1998

5.2. Le 10 janvier 1998 et les 14 et 15 février 1998

Le 10 janvier, ainsi que les 14 et 15 février 1998, un anticyclone centré sur la France se développe en crête vers le Bassin méditerranéen (axe NNE-SW). La Belgique est située sur le versant nord de l'anticyclone.

La nuit du 15 février 1998, l'examen des paraboles de deux stations: Houffalize ($r = 0.997$) et Berloz ($r = 0.991$), montre de légères variations de la température de la chaussée de part et d'autre de la parabole durant le refroidissement nocturne à la station de Berloz alors que le refroidissement à Houffalize suit très bien la parabole. En observant les autres paramètres météorologiques, nous pourrions attribuer ces fines variations de la courbe à un vent plus important à Berloz qu'à Houffalize et ce malgré un rayonnement atmosphérique (Ra) qui varie plus fort à cette dernière.

La nuit du 10 janvier 1998, à Houffalize le vent est plus important que le 15/02/98 et le refroidissement est moins conséquent malgré une augmentation du Ra.

6. Prédiction de la température de surface de la chaussée à 6 heures (TU +1)

L'estimation de la température de la surface de la chaussée en fin de nuit est importante puisqu'elle détermine les actions de salage des routes.

Nous avons essayé de mettre au point, par la méthode de régression multiple, une fonction basée sur des paramètres météorologiques mesurés pendant la journée et la soirée précédant le refroidissement nocturne.

Le fichier, utilisé pour cette analyse, est limité aux nuits pour lesquelles les paraboles de refroidissement (22h à 8h TU+1) ont un $r > 0,98$. Seules les quinze stations prévisionnelles ont été retenues dans cette analyse.

En retenant la température de surface (T0_0h), la température à 10 cm de profondeur de la chaussée (T10_0h), l'humidité relative à 2 m (U%_0h), la température de

l'air à 2 m à 0 heure (TU+1) (TA_{0h}), la température du point de rosée à 2 m (moyenne calculée entre 12 et 15 heures (TU+1)) (Td_{moy}) et le rayonnement global mesuré entre 10 heures et 16 heures (TU+1) (Rg_{cum}), nous avons calculé la meilleure fonction qui estime la valeur de la température de la surface à 6 heures (TU+1) ($T0_{6h}$).

$$T0_{6h} = T0_{0h} * 1,0533 - T10_{0h} * 0,16178 + TA_{0h} * 0,2394 + U\%_{0h} * 0,03077 \\ Td_{moy} * 0,15603 - Rg_{cum} * 0,00003 - 3,5003$$

Bien que le r soit supérieur à 0,98, l'erreur standard de l'estimée atteint encore 0,9 °C (Fig.5).

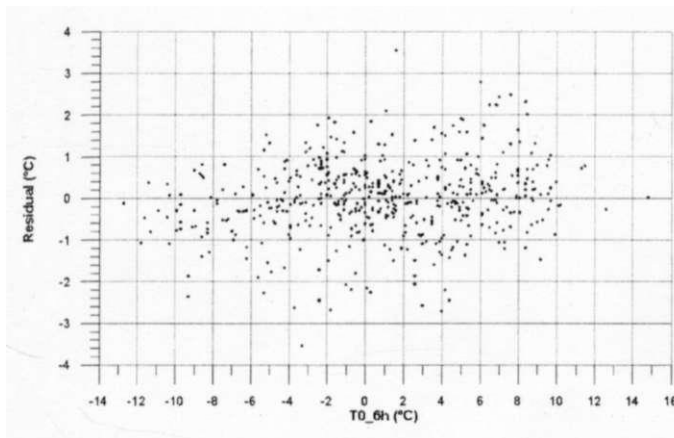


Figure 5: Température de la chaussée à 6h et résidus d'estimation de la fonction de régression multiple obtenus avec la température de surface, la température à 10 cm de profondeur de la chaussée, l'humidité relative, la température de l'air à 0 heure (TU+1), la température du point de rosée (moyenne calculée entre 12 et 15 heures (TU+1)) et le rayonnement global mesuré entre 10 heures et 16 heures (TU+1).

Afin de diminuer l'erreur sur l'estimation de la température de la chaussée à 6h du matin, nous avons intégré, la température de l'air à 2 m à 6 heures (TU+1) (TA_{6h}), variable prévue par les modèles de prévision des grands centres européens.

$$T0_{6h} = T0_{0h} * 0,015821 - TA_{0h} * 0,025937 + U\%_{0h} * 0,01505 + \\ TA_{6h} * 0,50545 \\ - Td_{moy} * 0,10021 - Rg_{cum} * 0,00002 - 1,68651$$

Dans ce cas, le r atteint une valeur égale à 0,99 et l'erreur sur l'estimée n'est plus que de 0,6°C (Fig.6).

Cependant, la régression appliquée à certaines stations, certaines nuits, offre une estimation différente de la mesure de plus de 1,5 °C. Dans ces cas, il s'agit de nuits ayant connu un changement de temps en début de nuit: soit un refroidissement (résidus < 1,5°C), soit un réchauffement (résidus > 1,5°C). De manière étonnante, ces nuits non-homogènes présentent un refroidissement (l'exemple du 09/03/98, fig.4 où Td a diminué de 8°C), ou un réchauffement qui n'affecte en rien la qualité de l'ajustement parabolique.

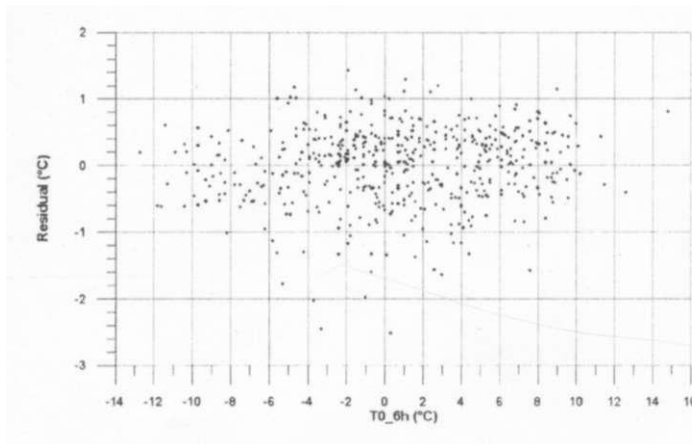


Figure 6: Température de la chaussée à 6h et résidus d'estimation de la fonction de régression multiple obtenus avec la température de surface, l'humidité relative, la température de l'air à 0 heure (TU+1), la température de l'air à 6 heures (TU+1), la température du point de rosée (moyenne calculée entre 12 et 15 heures (TU+1)) et le rayonnement global mesuré entre 10 heures et 16 heures (TU+1).

Conclusion

Les refroidissements nocturnes de la surface de la chaussée sont souvent bien ajustés à une parabole. L'estimation de la température de la surface à 6 heures peut être obtenue grâce à quelques paramètres météorologiques mesurés aux stations pendant la journée et la soirée qui précèdent. La précision de l'estimation est meilleure si on tient compte de la température de l'air prévue à 6 heures.

Toutefois, nous ne sommes pas encore parvenus à relier les paramètres de la parabole de refroidissement aux paramètres météorologiques de la soirée ou de la veille. L'analyse reste donc en cours.

Bibliographie

- HERTL, C. et SCHAFFARD, G., 1998: An autonomous approach to road temperature prediction. *Meteorological Applications*, 5, pp. 227 à 238.
- MILLER, A.R., 1982: Développement d'un programme d'ajustement de courbes. Programmes en pascal pour scientifiques et ingénieurs, chap. 5, pp. 133 à 163.
- TURUNEN, M., 1997: Measuring salt and freezing temperature on roads. *Meteorological Applications*, 4, pp.11 à 15.
- SHAO, J., LISTER, P.J., 1995: Data filtering for thermal mapping of road surface temperatures. *Meteorological Applications*, 2, pp.131 à 135.
- SHAO, J., LISTER, P.J., HART, G.D. and PEARSON, H.B., 1996: Thermal mapping: reliability and repeatability. *Meteorological Applications*, 3, pp.325 à 330.
- SHAO, J., SWANSON, J.C., PATTERSON, R., Lister, P.J. and McDONALD, A.N., 1997: Variation of winter road surface temperature due to topography and application of thermal mapping. *Meteorological Applications*, 4, pp.131 à 137.