

Mise en exploitation du modèle de prévision routière METRo en Algérie.

Idir DEHMOUS ^{1*}, Mohamed MOKHTARI ¹

Résumé

L'objectif principal de ce travail est la présentation du modèle de prévision routière METRo et son implémentation à l'Office National de la Météorologie (ONM) dans la perspective de sa mise en exploitation en Algérie en collaboration avec l'Agence de Gestion des Autoroutes (AGA). METRo est un modèle développé par les scientifiques de l'Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC). Il est opérationnel au Canada depuis 2001 et il donne des prévisions sur l'état de la route pour une période allant jusqu'à 48 heures. Le modèle METRo a été implémenté à l'ONM et il est validé sur la situation des 24, 25 et 26 janvier 2015. Les données de forçage utilisées pour cette étude sont celles observées à la station d'observation d'Ain Arnet (Sétif) et celles prévues du modèle AROME. L'analyse des sorties de du modèle montre que ce dernier a bien simulé les baisses des températures et les cumuls de neige pour cette situation, car la neige, qui est un bon indicateur du froid, a effectivement été observée à la station d'Ain Arnet.

¹ Office national de météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondant: dehmous86@hotmail.fr

1. Introduction

Durant les périodes d'hiver, de nombreuses régions tempérées sont influencées par des conditions climatiques sévères qui peuvent engendrer des répercussions graves sur les conditions de conduite. Des autoroutes entières sont parfois fermées à la circulation à cause du gel et du verglas ou l'accumulation de neige. De plus, des phénomènes météorologiques telles que la pluie et l'humidité, contribuent parfois d'une façon directe à la dégradation de la chaussée et augmentent les risques d'accidents, notamment lorsque les températures deviennent très basses.

Afin de faire face à ces risques et anticiper des stratégies d'alerte et d'intervention, la communauté scientifique a été mobilisée. A cet effet, plusieurs modèles numériques pour la prévision routière ont été développés [Covert and Hellstrom \(2014\)](#), [Crevier and Delage \(2001\)](#) pour la prévision des conditions de la surface de la route. Ces modèles sont opérationnels dans plusieurs centres météorologiques tels que le Canadian Meteorological Center (CMC) au Canada et au Czech Hydrometeorological Institut (CHMI) en République Tchèque.

En Algérie, malgré la courte durée de la saison d'hiver et le fait que les conditions météorologiques ne sont pas aussi rudes que celles des pays nordiques, les accidents de la route dues aux mauvaises conditions météorologiques représentent tout de même 5% du total des accidents enregistrés chaque année [Azzedine \(2015\)](#). De ce fait, un système de prévision de l'état des routes est nécessaire pour anticiper l'organisation des services d'intervention et de maintenance et réduire le risque d'accident.

Dans ce contexte, nous avons implémenté au Centre National des Prévisions Météorologique (CNPM-ONM) le modèle de prévision routière METRo. Nous avons testé ce système sur les situations des 24, 25 et 26 janvier 2015. Faute de disponibilité des données d'observation sur l'autoroute Est-ouest pour initialiser le modèle, nous avons utilisé celles de la station d'Ain Arnet (Sétif) située à proximité de l'autoroute, tandis que les prévisions du modèle AROME-Algérie sont utilisées comme données de couplage pour pouvoir intégrer dans le temps le modèle

METRo.

Après l'introduction, nous décrivons dans le chapitre 2 le schéma physique du modèle METRo qui est basé sur la résolution de l'équation du bilan énergétique à la surface. Le chapitre 3 sera consacré à la présentation des différentes étapes de la chaîne de prévision du modèle METRo et les données de forçage nécessaires pour exécuter le modèle. Ensuite, nous décrivons, dans le chapitre 4, notre cas d'étude. Le chapitre 5 sera dédié aux résultats de nos simulations et nous terminons par une conclusion.

2. Description du modèle METRo

METRo est un acronyme de «Model of the Environmental and Temperature of the Road» développé et devenu opérationnel au centre de prévisions météorologiques Canadien depuis l'année 2001. Le modèle consiste en la modélisation des trois phénomènes, bilan radiatif à la surface de la route, le transfert de chaleur par conduction au sein du matériau composant la chaussée et le cumul de pluie et de neige sur la surface de celle-ci.

Modélisation du bilan énergétique

La prise en compte des différents flux radiatif présents à la surface est très importante pour prévoir l'état de la chaussée. La relation du bilan énergétique est donnée par [Crevier and Delage \(2001\)](#) :

$$R = (1 - \alpha)S + \epsilon I - \epsilon \sigma T_s^4 - H - L_\alpha E \pm L_f + A \quad (1)$$

Avec :

- R est la somme du flux radiatif solaire net
- S est le flux incident
- α représente l'albédo
- I est la différence en le flux du rayonnement incident absorbé et le flux émis par la surface dans les courtes longueurs d'onde (rayonnement infrarouge)
- σ constante de Stephan-Boltzmann
- T_s température à la surface de la route

- le paramètre $\epsilon I - \sigma \epsilon T_s^4$ représente la différence entre le taux d'absorption du flux incident et celui émis par la chaussée
- H flux turbulent par chaleur sensible
- $L_\alpha E$ flux turbulent par chaleur latente; où L_α est la chaleur latente de vaporisation ou de sublimation et E le flux de vapeur d'eau.
- Le paramètre $\pm L_f P$ est relatif au flux de changement de phase des précipitations, présente à la surface avec P le taux de précipitation et L_f la chaleur latente de fusion ou de la glace, les signes + et - sont intervertis selon qu'il s'agit d'un phénomène de gel ou de fonte de la glace
- A indique le flux anthropogénique, il représente un terme additionnel dû à d'autres paramètres tels que la densité du trafic sur la route, les ombrages et d'autres caractéristiques relatives à la chaussée.

Modélisation du transfert de chaleur par conduction

L'évolution de la température au sein du matériau composant la route est donnée par la résolution de l'équation de diffusion à une dimension :

$$C(z) \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = - \frac{\partial G(z,t)}{\partial z} \quad (2)$$

Avec : $C(z)$ représente la capacité thermique et $G(z)$ le flux de chaleur au sol (suivant la profondeur), qui est donné par :

$$G(z,t) = -k(z) \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} \quad (3)$$

$k(z)$: est la conductivité thermique du matériau qui compose la route. Le tableau 1 donne les valeurs de la conductivité thermique et de capacité thermique utilisées dans le modèle METRo pour certains matériaux utilisés dans l'élaboration des routes et des autoroutes.

Table 1. Conductivité et capacité thermique pour certain matériaux utilisés dans METRo

Matériau	Conductivité thermique ($W.K^{-1}.m^{-1}$)	Capacité thermique ($J.K^{-1}.m^{-3}$)
Asphalte	1.80	2.1×10^6
Béton	2.20	2.1×10^6
Pierre concaassée	0.95	2.0×10^6

Pour résoudre l'équation de la diffusion, METRo utilise un schéma explicite avec deux différents maillages. Une grille avec une résolution uniforme pour les ponts et les viaducs et une grille à résolution variable pour les routes ordinaires.

Ce type de maillage a été adopté car les ponts sont suspendu en plein air, le profil de température se retrouve affecté non seulement à la surface, mais aussi du côté inférieur de la structure, un maillage uniforme permet de tenir compte des échanges radiatifs de part et d'autre du pont. Contrairement au cas des routes, la température au sol est le paramètre le plus important pour prévoir l'état de la chaussée. C'est la raison pour laquelle, la résolution du maillage est raffinée en surface et décroît à mesure qu'on descend en profondeur.

Le modèle METRo compte en effet 29 niveaux, l'espacement entre eux est de 0.01 m à la surface et 0.05 m

à partir d'une profondeur de 0.5 m. Le dernier niveau se situe à 1.4 m de la surface, 24 niveaux se situe au-dessus de 0.5 m de profondeur.

Par ailleurs, dans le cas des ponts et des viaducs, une grille avec un espacement de 0.01 m et les niveaux y sont uniformément repartis, leur nombre dépend de l'épaisseur du pont.

Modèle pour la prévision des cumuls d'eau et de neige

La troisième partie est un modèle simplifié pour les cumuls d'eau et de neige à la surface de la route, qui tient compte des valeurs des températures selon qu'elles sont supérieures ou inférieures à $0^\circ C$.

3. Processus de prévision dans le modèle METRo

Initialisation

Le modèle METRo a besoin, comme état initial, pour chaque run, d'un profil de température de la surface de la route et ce, i pour perturber le modèle de transfert de chaleur par conduction. METRo utilise, à la fois, les données d'observations recueillies à la surface et en profondeur pour le run prévision. Pour avoir ce type de données, lors des premiers essais de prévisions avec METRo, le centre Canadien de prévisions météorologiques a utilisé des capteurs placé à 0.4 m sous la chaussée [Crevier and Delage \(2001\)](#). Le profil de la température obtenu est exploité comme condition initiale pour la phase de couplage.

Couplage

Durant la phase de couplage, METRo procède à l'adaptation d'une prévision atmosphérique issue d'un modèle de prévision numérique du temps aux observations disponibles. A ce niveau, des valeurs données par le modèle numérique à courte échéance sont remplacées par les valeurs des paramètres observés correspondants. Les paramètres en question sont : la température de l'air, température du point de rosé et le cumul de précipitations. Si l'une des valeurs d'observations est manquante METRo utilise les valeurs données par le modèle numérique.

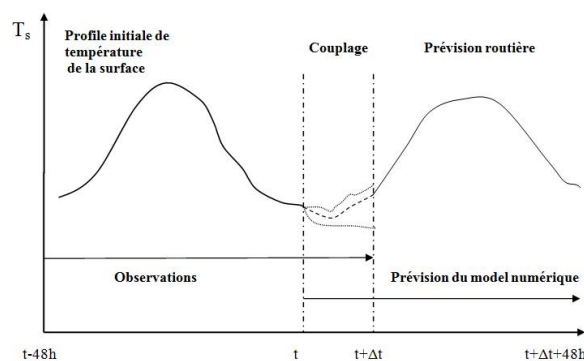


Figure 1. Les trois phases d'une prévision avec METRo

Prévision

A la fin du couplage le fichier d'entrée est modifié par rapport à celui donné par le modèle de prévision atmosphérique, la température T_a , la température du point de rosée q_a , la vitesse du vent V et le taux de précipitations

sont désormais ceux recueillis par les stations. En plus des paramètres relatifs à la prévision routière, METRo donne aussi d'autres paramètres concernant l'état de l'atmosphère. La prévision est effectuée jusqu'à échéance de 48 heures avec des sorties toutes les 20 minutes. Le tableau 2 résume les paramètres de sortie du modèle.

Table 2. Paramètres de sortie du modèle METRo

Nom du paramètre	Notation	Unité
Température à la surface	<i>st</i>	$^{\circ}C$
Température en-dessous de la surface	<i>sst</i>	$^{\circ}C$
Température de l'air	<i>at</i>	$^{\circ}C$
Température du point de rosée	<i>td</i>	$^{\circ}C$
Vitesse du vent	<i>ws</i>	Km/h
Épaisseur de neige sur la route	<i>sn</i>	<i>cm</i>
Taux de précipitations sur la route	<i>ra</i>	<i>mm</i>
Cumul de neige en 1 heure	<i>qp - sn</i>	<i>cm</i>
Cumul de pluie en 1 heure	<i>qp - ra</i>	<i>mm</i>
Le flux solaire	<i>sf</i>	W/m^2
Le flux infrarouge incident	<i>ir</i>	W/m^2
Flux de vapeur	<i>fv</i>	W/m^2
État de la chaussée	<i>rc</i>	Code METRo
Couverture nuageuse	<i>cc</i>	Octat
Chaleur sensible	<i>fc</i>	W/m^2
Effet corps noir	<i>bb</i>	W/m^2
Changement de phase	<i>fp</i>	W/m^2

4. Implémentation du modèle METRo au CNPM

Après l'installation du modèle METRo au CNPM (Centre National des Prévisions Météorologiques), nous avons entamé une étude de validation sur les situations des 24, 25 et 26 janvier 2015. Ces situations sont caractérisées par une baisse sensible des températures et des chutes de neige. Dans ce qui suit, nous allons décrire les données d'entrées utilisées pour initialiser le modèle et notre choix de site.

Données de prévision atmosphérique

Le fichier de prévision atmosphérique a été préparé à partir des sorties du modèle opérationnel AROME, avec une résolution de 3km et une fréquence de sortie (output) de 3 heures. Ce fichier contient les paramètres suivants : la température de l'air à 2m, la température du point de rosé à 2m, les cumuls de pluie et de neige, la vitesse du vent et la pression à la surface. Ces paramètres sont extraits en point de grille du site concerné par la prévision routière. Deux autres paramètres, qui sont en optionnels, peuvent être rajoutés en input au fichier de la prévision. Il s'agit des flux solaire et thermique (infrarouge).

Données d'observations et configuration des stations

Le fichier observation contient les paramètres mesurés au niveau des stations de Road Weather Information Système (RWIS) tels que : la température de l'air, le point de rosée, la vitesse du vent ... Il doit y avoir une observation valide et ce pour chaque champ. Les critères suivants doivent être vérifiés pour que METRo valide le fichier d'observation :

- Au moins une observation doit avoir des valeurs valides pour les paramètres *sst* et *st*.
- L'observation contenant des valeurs valides de *sst* et de *st* doit être suivie dans les 4 heures suivantes d'au moins une valeur valide de *st*.

- Au moins une valeur de *st* doit être disponible au moment ou après la première prévision atmosphérique.

Quant au fichier de configuration des stations, il contient des données relatives aux coordonnées géographiques de la station, son type (selon qu'il s'agit d'une station située sur un viaduc, pont ou une route), ainsi que la description de la nature des matériaux et les épaisseurs des différentes couches qui composent la chaussée (asphalte, gravier, béton, sable). La figure 2 schématise la chaîne de prévision routière avec METRo.

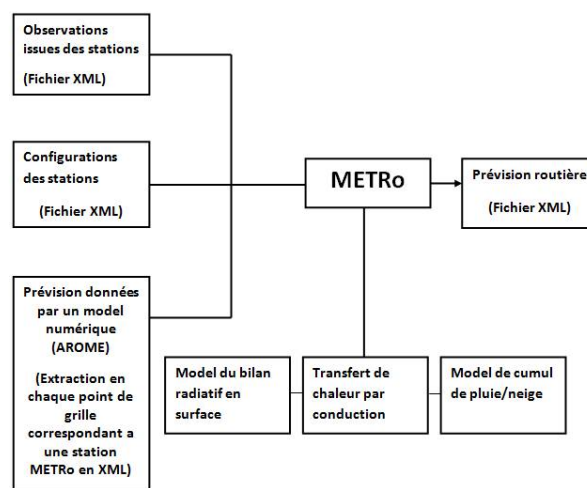


Figure 2. Chaîne d'automatisation de la prévision routière du modèle METRo

Simulation des situations 24 à 26 Janvier 2015

Vu que les routes en Algérie ne sont pas encore dotées du système RWIS, et pour que notre étude soit plus réaliste, nous avons pris une station proche de l'autoroute Est-ouest qui est la station d'Ain-Arnat. Cette station fournit des observations régulières tri-horaires pour les paramètres de la température à 2 mètres, la vitesse du vent et les cumuls des précipitations. Tandis que les paramètres de la température au sol et la température dans le sol (à 40 cm) sont donnés avec une fréquence de trois mesures par jour.

Le fichier de la prévision numérique a été préparé en utilisant la prévision correspondante à la période du 24 et 25 janvier 2015 issue du modèle AROME-Algérie.

Table 3. Paramètres de sortie du modèle METRo

Station	Paramètres fournis par la station
Nom : Ain-Arnat	Température de l'air (<i>ta</i>)
Latitude : $36.16^{\circ}N$	Température du point de rosée (<i>td</i>)
Longitude : $5.32^{\circ}E$	Vitesse du vent (<i>sw</i>)
Élévation : 1015m	Cumul des précipitations pluie/neige (<i>ra/sn</i>)
	Température du sol (<i>st</i>) (min. et max.)
	Température sous le sol (40 cm) (<i>sst</i>)

5. Résultats et discussions

Les résultats représentés dans ce chapitre concernent les paramètres de la température à la surface *st* et les cumuls de neige sur la chaussée prévus pour 48 heures d'échéance.

Le modèle prévoit des températures négatives sur la surface de la route à partir des premières échéances d'intégration (de 00h00 à 08h00 du matin), pour la journée du 25-01-2015 (Fig. 3). Ces températures négatives sont essentiellement dues à l'absence du rayonnement solaire, ce qui affecte considérablement les échanges radiatifs à la surface. Ceci a pour conséquence la diminution de la température à la surface de la route. Pendant la journée, le rayonnement solaire affecte sensiblement la température en surface et provoque une augmentation relativement importante pour les échéances comprise entre 10h00 et 15h00. En comparaison avec les données d'observations, on constate que le modèle a bien simulé les baisses de températures pour cette journée puisque les observations motionnent la présence de la neige sur la station d'Ain-Arnat, qui est un bon indicateur du froid.

En ce qui concerne les cumuls de neige, le modèle METRo prévoit des cumuls atteignant 7 cm d'épaisseur sur la chaussée et ceci pour la nuit du 24 au 25-01-2015 tel que montré sur la figure 4.

Notons que les résultats présentés dans cet article concernent uniquement les prévisions du modèle METRo. En effet, une vérification de l'exactitude des prévisions nécessite la disponibilité de plus d'observations, particulièrement la température à la surface et la température en profondeur du sol. Alors que, la station ne fournit que des températures minimales et maximales et tri-horaires de la température à la surface et de la température dans le sol.

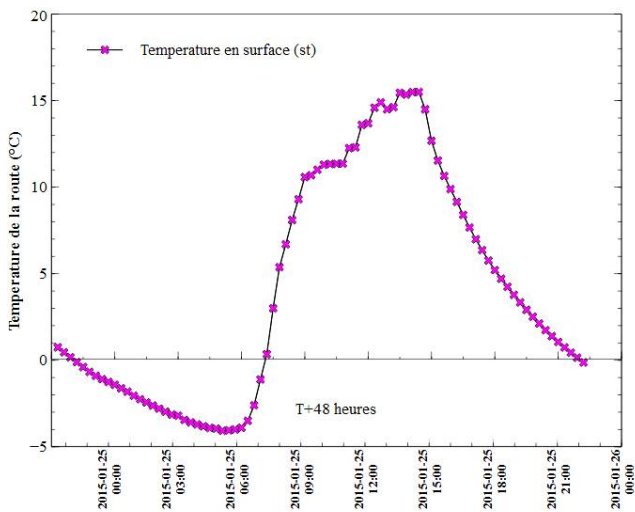


Figure 3. : Profil de la température sur la route (st) prévue par le modèle METRo pour les journées du 24 au 26-01-2015.

6. Conclusion

L'objectif principal de ce travail était l'implémentation et la mise en marche du modèle de prévision routière METRo couplé au modèle opérationnel de prévision AROME-Algérie. Nous avons présenté dans cet article les résultats de notre première expérience en matière de prévision routière avec ce modèle. Ces résultats sont très satisfaisants, puisque le modèle était à la mesure de prévoir les deux

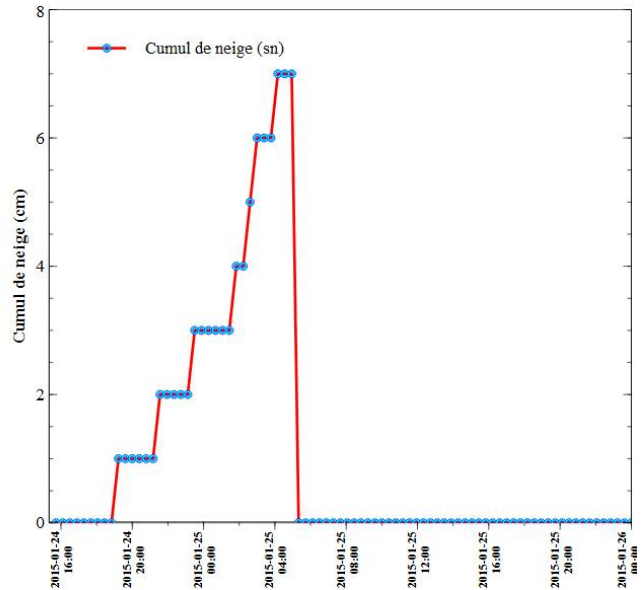


Figure 4. Cumul de neige (sn) prévu par le modèle METRo pour les journées du 24 au 26-01-2015.

phénomènes qui ont caractérisés les situations des 24-26 janvier 2015 qui sont la baisse sensible des températures et la chute de neige.

Cette étude sera plus cohérente et plus complète si des stations RWIS sont disponibles. Ceci peut nous fournir d'avantage d'observations avec des intervalles de temps plus réduits. Cela nous permettra d'avoir un état initial plus proche de la réalité et des données supplémentaires pour la validation de ce modèle.

Par ailleurs, dans le cadre du projet d'installation des stations RWIS le long de l'autoroute Est-ouest par l'AGA en collaboration avec l'ONM, cette étude sera largement améliorée en bénéficiant des avantages de ce projet. Ainsi, l'Algérie bénéficiera à l'avenir d'un système complet fournissant à la fois des prévisions routières et des informations sur l'état de la route en temps réel.

Remerciements

Nous remercions Mr Sahabi et Mr Kerrouch du Centre Climatologique Nationale (CCN) de nous avoir facilité l'accès aux données d'observations utilisées dans cette étude.

Nous remercions Mr Hammouche Rabah, expert CCM, qui nous a suggéré l'idée de l'adaptation de ce modèle.

Références

- Azzedine, M. (2015.). Principales causes des accidents de la circulation routiere et les mesures d'attenuation en algerie. *European scientific journal*, Vol 11.
- Covert, J. and Hellstrom, R. (2014). An indirect method for predicting road surface on coastal areas with snowig winter. *Appalachain university*.
- Crevier, L.-P. and Delage, Y. (2001). Metro : A new model for road-condition forecasting in canada. *Journal of Applied Meteorology*, 40(11) :2026-2037.